



Termisk forgasning af biomasse.

Referat af teknikdag, DTU MEK, Sektionen for Energiteknik 2002

Iversen, Henrik Laudal

Publication date:
2002

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Iversen, H. L. (Ed.) (2002). *Termisk forgasning af biomasse. Referat af teknikdag, DTU MEK, Sektionen for Energiteknik 2002*. DTU Mekanik.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Termisk forgasning af biomasse

**Referat af teknikdag
den 14. marts 2002**

**Institut for Mekanik, Energi og Konstruktion
Sektion for Energiteknik**

Teknikdag 14. marts 2002

Dette er referatet af Teknikdagen 2002 afholdt på DTU af MEK, Sektion for Energiteknik.

Indlæggene i referatet er gengivet efter båndoptagelser. Der er dog foretaget nogle enkelte omskrivninger af hensyn til læseligheden. Foredragholdernes overheads er endvidere blevet lagt ind i referatet.

Referent: Henrik Laudal Iversen

Deltagerliste

Claus Geest	Babcock & Wilcox Volund R&D Centre
Thomas Ritz Nissen	Babcock & Wilcox Volund R&D Centre
Bjørn Teislev	Babcock & Wilcox Volund R&D Centre
Henrik Houmann Jakobsen	BioSynergi Proces ApS
Simon Matlok	COWI A/S
Reto M. Hummelshøj	COWI A/S
Jens Dall Bentzen	COWI A/S
Viktor Jensen	Danske Fjernvarmeværkers Forening
Kjær Andreasen	daka a.m.b.a.
Martin Wittrup Fock	dk-TEKNIK
Søren Houmøller	dk-TEKNIK
Peder Stoholm	Danish Fluid Bed Technology
Flemming Øster	Elkraft System
Fritz Luxhøi	Eltra
Lise Nielson	Eltra
Klaus Mandrup	Energistyrelsen
Henrik Flyver Christiansen	Energistyrelsen
Ulf Meyer Henius	Energistyrelsen
Erik Winther	Energi E2 A/S
Stig Møller Andersen	Energi E2 A/S
Damien Grévain	FLS miljø A/S
Steen Iversen	FLS miljø A/S
Michael Lykke Heiredal	FLS miljø A/S
Per Rosenberg	GEUS
Jørgen K. Mouritsen	Herning Kommunale værker
Peter Glarborg	KT, DTU
Peter Arendt Jensen	KT, DTU
Flemming J. Frandsen	KT, DTU
Tage Madsen	Kommunekemi a/s
Nanna Nørholm	Kommunekemi a/s
Ole Kristensen	Kommunekemi a/s
Ulrik B. Henriksen	MEK, DTU
Torben Kvist Jensen	MEK, DTU
Benny Gøbel	MEK, DTU
Claus Hindsgaul	MEK, DTU
Jesper Ahrenfeldt	MEK, DTU
Rasmus Glar Nielsen	MEK, DTU
Freddy Christensen	MEK, DTU
Torben Lyngbech	MEK, DTU
Steen Nielsen	MEK, DTU
Bjørn Qvale	MEK, DTU
Niels Houbak	MEK, DTU
Hanne Nicolajsen	MEK, DTU
Henrik Laudal Iversen	MEK, DTU studerende, referent
Christina Gomez Burgos	MEK, DTU studerende

Lasse Holst Sørensen
Kai Richardt
Helge Egsgaard
Hans Chr. Sørensen
Helle Junker
Uwe Zielke
Thomas Koch
Jes la Cour Jansen
Lene Sarbæk

ReaTech
Rica-Tec Engineering A/S
Forskningscenter Risø
SPOK ApS
Tech-wise
Teknologisk Institut
Thomas Kock Energi A/S
Vateknik, Lunds Universitet

Adresser

Energistyrelsen
Amaliegade 44
1256 København K

dk-TEKNIK
Gladsaxe Møllevej 15
2860 Søborg

Herning Kommunale Værker
Dalgas Allé 3
7400 Herning

COWI A/S
Parallelvej 15
2800 Lyngby

Forskningscenter Risø
Frederiksborgvej 399
4000 Roskilde

Danish Fluid Bed Technology
Forskerparken CAT
Frederiksborgvej 399
4000 Roskilde

ReaTech
Forskerparken CAT
Frederiksborgvej 399
4000 Roskilde

Rica-Tec Engineering A/S
Marielundvej 48 B
2730 Herlev

Babcock & Wilcox Volund R&D
Centre
Centervej 2
6000 Kolding

Tech-wise
Kraftværksvej 53
7000 Fredericia

Kommunekemi a/s
Lindholmvej 3
DK-5800 Nyborg

Danske Fjernvarmeværkers Forening
Galgebjergvej 44
6000 Kolding

daka a.m.b.a.
Dakavej 10
8723 Løsning

Elkraft system
Lautruphøj 7
2750 Ballerup

Thomas Kock Energi A/S
Stationsvej 4
4621 Gadstrup

Eltra
Fjordvejen 1-11
7000 Fredericia

ENERGI E2 A/S
Teglholmsgade 8
2450 København SV

FLS Miljø a/s
Ramsingsvej 30
2500 Valby

MEK, DTU
Nils Koppel allé
DTU – Bygning 403
2800 Kgs. Lyngby

Geus
Øster Voldgade 10
1350 København

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29,
Teknologiparken
8000 Århus C

Indholdsfortegnelse

Teknikdag 14. marts 2002	1
Deltagerliste	2
Adresser	4
Indholdsfortegnelse.....	5
Program	6
Velkomst	7
Nyt fra Energistyrelsen.....	8
Vølunds forgasningsaktiviteter	17
FLS-miljø	30
TK-Energis aktiviteter, indfødnig og forgasning	34
DFBT om LTCFB.....	46
Teknologisk Institut om Tjæremåling	58
ReaTech om Additiver.....	66
RISØ om klor	78
Oversigt over forgasningsaktiviteter på MEK.....	89
Modellering af forgasningssystemer	102
Modellering af Strømningsforhold i en Koksbed	107
CFD modellering af koksbed - COWI	119
Totrinsforgasning	128
Halmforgasning vha. Totrinsprocessen	133
CH-Partikler i Totrinsforgasser.....	143
Motorresultater fra MEK.....	148

Program

9 ⁰⁰	Kaffe mm.
9 ³⁰	Velkomst (<i>Ulrik Henriksen ET, DTU</i>)
9 ³⁵	Nyt fra Energistyrelsen (<i>Henrik Flyver Christiansen, Energistyrelsen</i>)
9 ⁴⁵	Vølund ^s forgasningsaktiviteter
10 ¹⁰	FLS ^s forgasningsprojekter
10 ³⁵	Kaffe
10 ⁵⁵	TK- Energi ^s aktiviteter vedr. indføddning og forgasning
11 ²⁰	DFBT om LTCFB
11 ⁴⁵	Teknologisk Institut om Tjæremåling
12 ⁰⁰	Frokost
13 ⁰⁰	ReaTech om Additiver
13 ¹⁵	Risø om klor
13 ³⁰	Oversigt over forgasningsaktiviteter på MEK
13 ⁵⁵	COWI og MEK om modellering af forgasningssystemer og koksbeds
14 ³⁵	Totrinsforgasning (halmforgasning, ”Viking”, mm.)
15 ⁰⁰	Kaffe
15 ¹⁵	CH-Partikler i totrinsforgasser
15 ²⁵	Motorresultater fra MEK
15 ⁴⁰	Diskussion, Vand, øl.
16 ⁰⁰	Besøg på halmfortet og totrinsforgasseren ”Viking”

Velkomst

ved Ulrik Henriksen, MEK, DTU

Ja, så vil jeg bare sige goddag og velkommen til Teknikdagen, som vi jo har holdt mange gange også i dette lokale, gennem mange år, hvor vi har talt om forgasning og forgasningsaktiviteter. Og det skal der også tales om i dag. Der er mange interessante foredrag på skærmen, synes jeg i hvert fald specielt nu til formiddag, hvor det jo er fra den virkelige verden og så i eftermiddag er det så det mere forskningsmæssige og vores aktiviteter der vil blive gennemgået.

Som Kofoed han plejer at sige i sin tid, når der var teknikdag, så sagde han: ”grunden til det hedder en teknikdag, det er fordi det er en teknikdag”. Men jeg er nu bange for alligevel, at netop i dag/i år, vil der blive tale om lidt andet også en lige teknik, f.eks. sådan noget med politik og sådan noget. Det kan man vel ikke helt komme udenom i dag, så det er nok også okay. Og så er der jo det der med, at man skal huske på denne her teknikdag, at et af formålene var, at man skulle lytte, og man skulle sige noget. Så man både gav noget og fik noget ud af det. Det var sådan set alt, hvad jeg ville sige her. Jeg er selvfølgelig glad for, at der er så mange der gerne vil holde et indlæg. Så det ser vi frem til, og så kan vi jo starte med den første der skal holde et indlæg, og det har ikke så meget med teknik at gøre. Det er Henrik Flyver Christiansen fra Energistyrelsen, der vil fortælle lidt, om der er noget nyt. Henrik:

Nyt fra Energistyrelsen

ved Henrik Flyver Christiansen, Energistyrelsen

Tak for at jeg måtte komme og snakke lidt. Jeg har oven i købet fået lov til at snakke et par minutter mere end Ulrik havde sat af på programmet og årsagen var, at vi i den situation vi befinder os i, i øjeblikket, er der nok mange, der har en masse spørgsmål og i stedet for, at jeg skal rende rundt og svare på dem senere, så synes jeg lige så godt jeg kunne tage fat på dem fra en ende af. Og derfor satte jeg mig ned i går aftes og spekulerede på, hvad er det egentligt det lige drejer sig om. Og hvad er det egentligt, der er nyt. Og det nye er jo selvfølgelig, at vi har fået en ny regering. Og hvad er det så, den nye regering siger? Ja den siger, at al ting skal liberaliseres.

Liberalisering

El, Gas og varme

- Elprisen skal nedbringes
- Åbning af gasmarkedet
- Indtægtsrammeregulering

+ Internationale reguleringer. (Miljø)

Pointer (HFC)

- Dårlig kobling af el og varme. (Energilagring)
- Uens afregning af de- og central KV.

Historie: Grønt flertal siden 75-80

Om så el, gas og varme. Elprisen skal nedbringes, det er i hvert fald noget af det, vi sidder og skriver på i øjeblikket. Og jeg vil ikke komme ind på detaljer om, hvad der foregår, fordi det er jeg selvfølgelig ikke bemyndiget til at gøre – det skal politikerne have lov at beslutte først. Men jeg vil love jer for, at vi har om ikke mere, så meget mere travlt end vi tidligere har haft mht., hvordan man kan lave alle disse ting om.

Og det er jo elprisen de specielt har fokuseret på. Åbningen af gasmarkedet har ligget i lang tid. Indtægtsrammeregulering for varmeforsyningen, den har også ligget der i lang tid. Desuden siger politikerne at al dette skal foregå i en atmosfære, hvor vi stadigvæk overholder de internationale forpligtigelser. Jeg har nogle forskellige pointer, som jeg synes, man engang imellem skal kigge lidt på. Det er, at effektiviteten i vores system jo ikke er så god. Hvis man tager vindmøllestrømmen f.eks. og smider den ud, når man bare kunne fyre den strøm af i et energilager i form af et stort fjernvarmesystem. Men så kommer vi jo ind og roder med vores afgiftspolitik Det er jo ikke sådan, at man lige må lave strøm om til varme og lagre den, så derfor slukker man for vindmøllerne og lader dem stå stille, selvom vi har investeret i dem. Der er måske ikke så effektivt at man gør

det. Man skulle måske mere acceptere, at der var en større fleksibilitet, i en el- og varmeproduktion, sådan så der til enhver tid kunne tilpasses det behov, der er der. Så har regeringen også krævet en hel masse omkring deres afgiftssystemer, og hvis man læser imellem linieme, så læser man, at det er den centrale afgift på central kraftvarme, der tages op til overvejelse. Den decentrale er bestemt taget op til overvejelse. Nogen af jer har nok set, at de lancerer endnu et projekt for barmarksværkerne – altså de 18000 mennesker der i Danmark har en lidt høj varmeregning, de skal forgyldes endnu engang. Så er det sådan at vi jo har et fantastisk energisystem sammenlignet med andre systemer i verden. Vi har jo et system, hvor man typisk ved en decentral produktion ligger midt i 80'erne med brændselsudnyttelse. Og man ved en central produktion typisk ligger midt i 60'erne, når vi ser på Danmark som helhed. Det betyder, at der måske er nogle koblinger og fordele, som man kunne inddrage mere i fremtiden, altså energieffektivisering.

Jeg mener også at vi har nogle hængepartier. Og de hængepartier dem er der jo mange af jer, der er interesseret i at vide, hvad det er for noget og det er 2001-bevillingen. Det er nu offentligt, og det er offentligt på den måde, at vi har knoklet for at se, om vi kunne få lov til at genbruge de penge, der blev båndlagt ved udgiftstoppet i december måned. Og i den forbindelse, og så er der jo lige den nye finanslov, og den vil jeg komme kort ind på de to.

Hængepartier

Støtteordninger

- 2001 bevilling overførsel
- 2002 finanslovsforslag.

2001 Overførsel

- + Basisbevillinger \Leftrightarrow afslutning
- \div CO2 projekter
- \div EFP projekter
- \div UVE projekter
- \div Værkpuljeprojekter

De fleste tilskudsordninger bortfalder

Hvis vi kigger på 2001, så til alle jer, der har haft basisbevillinger under systemet, ja så vil vi lave nogle afviklingsordninger, og vi har fået lov til at genanvende ca. 20 mio. kr. på hele afslutningen/afviklingen af det. Hele CO₂-puljen den røg. Der var ingen af pengene, der kunne genanvendes. Så der er ingen af de projekter, vi har søgt fra statens side om at få lov at bevilge penge til. For mit eget vedkommende, der sad jeg jo faktisk

lige inden afgiftsstoppet var udført og var ved at afstemme pengekasserne og blækket var vådt, men papiret var ikke sendt ud, så derfor kunne vi ikke få lov at bruge pengene. Der er ingen af EFP-projekterne. Der er ingen af EFP-pengene fra sidste år, vi må bruge. Der er ingen af UVE-pengene fra sidste år, vi må bruge. Der er ingen af værkpuljepengene fra sidste år vi må bruge. Det er stort set kun basisbevillingspengene fra sidste år, vi får lov til at bruge.

Regulering

Finanslov 2002 Støtteprogrammer

- UVE \div
- EFP 110 \rightarrow 40 mio. kr.
- Værkpulje 25 \rightarrow 13,5 mio. kr. (planlagt 12,5 mio. kr)
- CO2 \div
- M. fl. \div
- PSO \approx 2/3

El-afregning

- Eksisterende forhold (+27 øre)
- ? VE-bevis – Udskudt
- ? 2003 forhold afklares (forlig)

Konkurrenceevnepakken (vurderet 500 mio. kr. total) +150%

Forskningsministerium

Hvad er der så tilbage af disse ordninger? Der er faktisk kun en ordning tilbage af alle disse, eller to, der er EFP-ordningen og værkpuljeordningen. EFP-ordningen er skåret ned fra 110 mio. til 40 mio. kr. i 2002 – stigende til 50 mio. kr. i 2003. De fleste af de 40 mio. kr. de er båndlagt, så der bliver vel en 20-25 mio. kr. tilbage til uddeling til projekter i år. Værkpuljen, den er oven i købet steget, den har fået en ekstra million. Den blev hævet fra 12½ til 13½ mio. vi har at dele ud i år. Men de der 13½ mio. vi havde til overs fra sidste år, dem fik vi ikke lov at beholde. Det var pengekasserne!

I går da jeg ringede til Ulrik og spurgte om der var noget, han gerne ville have jeg skulle sige, så lagde han ud med at fortælle mig, at han lige var kommet hjem fra arbejde der ved en 9-tiden, og han havde for en halv time siden åbnet en flaske rødvin, og nu havde han siddet og fået et glas rødvin. Og det bedste jeg kunne sige i dag, det var, hvis jeg kunne meddele, at regeringen var gået af, og at alle støtteprogrammerne var genindført og at vi kunne fortsætte som hidtil, så synes Ulrik, det var det bedste vi kunne gøre.

Så har vi jo egentlig lige de tal jeg nævnte før. Så er der PSO'en tilbage. Og PSO'en, den er nok indstillet i størrelsesordenen noget der hedder en 2/3 af, hvad den var tidligere. Dvs. PSO-pengekassen bliver det største støtteprogram, der er tilbage. Så kan vi også sige nogle andre ting omkring finansloven, og det er el-afregningen omkring den, så er det jo altså sådan, at det er de eksisterende forhold, der gælder. De gælder frem til, der bliver vedtaget noget nyt. Vi kan sige, at VE-beviserne er blevet udskudt. Og hvad der sker med VE-beviserne, det er der ikke nogen, der tør svare på. Det mest sandsynlige det er, at det ikke er den form, vi tidligere har set, der bliver indført. Vi kan sige, at det alle er enige om, det er, at der skal ske noget i 2003. Og årsagen til det, det er elreformsforliget, det løber frem til 2003. Det var et af de der brede energiforlig, som der er i folketinget, og som betyder, at man normalt ikke løber fra det. Men lad os nu se. Vi har endnu ikke oplevet, at der er løbet fra nogen ting endnu.

Så kan vi jo så sige, at vi har fået noget nyt. Det hedder en konkurrenceevnepakke. Og hvad er så det? Konkurrenceevnepakken er vurderet til at svare til omkring 500 mio. kr. og den består egentlig i, at i stedet for, at man opkræver nogle skattekrone, laver nogle støtteordninger og giver pengene tilbage, så laver man et system, hvor virksomhederne i fremtiden får lov til at få favorable skattevilkår. Således, at hvis de arbejder med forskning og udvikling, så kan de værdisætte den til 150% svarende til, at de faktisk har 50% i overskud af deres faktiske omkostninger. Hvad ligner det så? Ja det ligner jo faktisk, at tidligere havde man op til 50% tilskud svarende til, hvad der tidligere var sket. Nu er det jo sådan, at det kan man sagtens gøre i det øjeblik, hvor man er en industrivirksomhed, og man har masser af penge på kontoen og har råd til at forske. Så er der jo ikke så store problemer ved det. Mange små virksomheder vil jo slet ikke være i stand til at udnytte den. Man kan jo også sige, at det jo går specielt ud over de forskellige teknologiske serviceinstitutter osv., fordi de netop ikke kører som sådan et industriforskningsforetagende.

Så er der en hel portion, der ligger ovre i det nye forskningsministerium. Det bliver efter min mening spændende at se, hvad det kommer til at indeholde. Så det vil jeg ikke gå så meget ind på. Det var sådan meget kort med, hvad det er for en situation, vi står i, i øjeblikket.

Så vil jeg så meget kort prøve at kigge lidt på en status. Og der er som dagsordenen viser i dag, så er det jo fantastisk, hvad det er der er sket i Danmark de sidste 10-15 år. Jeg kan huske, da Gitte Olsen og Kofoed de rendte rundt mht. forgasningen og rodede med noget halm nede i de gamle forsøgshaller. Det er vel 15 år siden efterhånden, er det ikke? Er det ikke noget i den størrelsesorden? Måske 20 år siden?

Resultater – Status

Dagsorden

- Internationalt højt niveau (10 år)
- Fremhæve enkelt projekter
- DK teknologi
- Udenlandsk teknologi
- Halm lignende produkter \Leftrightarrow DK. (Elkraft)

Forskning/udvikling

- Kommerciel demonstration – Teknologier
- Tjæremålemetoder
- Restprodukters miljøbelastning
- Generel forståelse (Planlægning, effektivitet osv.)
- Grundlæggende forståelse

Alt andet lige, så er vi nået frem på et højt internationalt niveau. Vi har kommercielle forgasserer i drift i Danmark. Det er der ikke så mange andre lande der har. Og vi kan fremhæve forskellige projekter. Vi kan fremhæve, at vi har fået udviklet forskellige typer dansk teknologi. Vi kan fremhæve, at der er flere danske virksomheder som henter udenlandsk teknologi til landet. Sågar Vølund gjorde det jo, da de startede med deres modstrømsforgasser. Det var jo oprindeligt et tysk design. Vi kan fremhæve, at vi vel er det eneste land der i øjeblikket har forstand på at forgasse halm. Nu ved jeg ikke rigtigt om vi får lejlighed til at høre Erik fortælle om Elkraft-projektet også. Men det er jo egentlig et fantastisk projekt, at man fra starten af 90'erne og frem til i dag, har været i stand til at udvikle en halmforgasningsteknologi, sådan så man faktisk venter på pengebeløbene, bevillingerne, beslutningerne om, hvor man skal bygge sådan en forgasser henne, fordi teknologien er klar til at blive implementeret.

Og så har vi efterhånden forhåbentlig bl.a. med Vølund det man kalder en kommerciel teknologi til rådighed. Det er i hvert fald det, Vølund satser på at skulle nå frem til her engang i april måned. Så vidt jeg er bekendt, så er de da begyndt at sælge anlæggene nu, modsat tidligere.

Så er der hele området, der hedder forskning, udvikling og demonstration i parentes. Og det er det, Fritz Luxhøj ofte har sagt til mig: ”nu er vi nået så langt på mange forskellige områder, vi mangler simpelthen nogle systemer, sådan at vi kan implementere og

demonstrere de teknologier, vi har udviklet. Og der kan vi jo så sige, at der har vi et skud tilbage i bøssen. Og det er værkpuljeskuddet, som vi har til rådighed i år, og det er vel det, der i øjeblikket foreligger, som I har mulighed for.

Så kan vi sige, at vi har fået påvirket det internationale forskningsmiljø, således at vi bestemt er med i front mht. tjæremålemetoder. Vi har helt klart været med til at eftervise de forskellige metoder til måling og bestemmelse af tjære, er det støv, er det tjære, er det små aerosoler, en blanding af det. Det har vi virkelig fået sat på dagsordenen, så man ved, hvad det er, det drejer sig om. Vi har gennemført over en længere årrække en undersøgelse af restprodukter på spildevandsområdet, noget som mange andre lande ikke har kigget på. Man kan jo tage ud og se forgassere i tredje verdens lande, og de afleverer stort set affaldet ved den nærmeste flod. Dvs. tjæren løber et eller andet sted hen, og man sørger ikke for at sikre den miljømæssige side af sagen.

Man har opnået en lang bredere generel forståelse af, hvad forgasning/forbrænding er herhjemme. Man har opnået en lang større grundlæggende forståelse ved de forskningsprojekter, der har kørt i mange år. Efter min mening må vi her på bundlinjen konkludere, at det slet ikke står så slemt til herhjemme. Vores rammer - de politiske rammer er ændret, det er korrekt. Og det er så det, der bliver vores opgave at finde ud af, hvordan tager vi så det op på en fornuftig vis.

I dag er det faktisk sådan, at 40% af al fjernvarmen produceret i Danmark er biomassebaseret. Vi ved, det er vi i hvert fald ikke i tvivl om, at biomassevarmeproduktionen i Danmark, den vil stige også i fremtiden. Og det vil den gøre uden nogle støtteordninger pga. prisforskellen imellem fossile produkter og biomasseprodukter, som endnu ikke er blevet beskattet. Men vær ikke i tvivl om, at i det øjeblik der ikke kommer penge nok i husholdningskassen fra de fossile produkter, så kan man nok også finde en måde at beskatte biomasse på.

Fremtiden (Bio)

40 % \Leftrightarrow DK Fjernvarme

Varmerproduktionen vil stige pga. pris

Eksport af BAT

Opfølgningsprogrammet (DOKV)

- Afslutning bevillinger
- Afrapportering \Leftrightarrow seminar 2002
- EU – opfølgningsprogram
- Afrunding af sidste periode (03-05)
- Værkpulje finansieret

Elpris vil stige pga. vandmangel

Vi ved, at vi kan eksportere "best available technology". Danmark har jo, og hvis man begynder at tælle det lidt sammen, så er vi vel enerådige på verdensmarkedet i øjeblikket mht. halmforbrændingsanlæg som kraftværker. Der er så vidt mig bekendt ikke rigtig andre der tør byde ind på området.

Så vil jeg lige runde lidt af, så tiden ikke løber for meget, og det er omkring det opfølgningsprogram, som jeg nu har stået for i en årrække. Personlig mener jeg, at den koordination, der har ligget i programmet, har været fantastisk i forhold til at sørge for, at folk snakker sammen.

Som jeg nævnte tidligere, så har vi fået lov til at bruge nogle penge fra sidste år, så vi kan få lov til at afslutte programmet på en ordentlig måde. Det vil sige, at hele programmet bliver afrapporteret, og der bliver afholdt vores to-dages seminar, og jeg har ikke rigtig kunne sætte tidspunkter på det, fordi så sent som i går fyrede jeg det sidste skud af i bøssen. Jeg havde håbet på, at der var seks patroner i, men jeg fik kun tre patroner og skyde, og det er de tre forskellige måder hvorpå, vi har prøvet på alle mulige måder at sikre, at vi kunne genanvende de penge, der blev til overs sidste år. Og i går blev vi enige om, at nu skulle det sidste skud fyres af på den og den måde. Så det er jeg spændt på at se, hvad min direktør siger til.

Vi ved, at EU tager positivt imod at lave et sådant opfølgningsprogram, og det kan være, at det kommer på banen, og at man laver et sådant fælles europæisk opfølgningsprogram bl.a. pga., at de kan se, at der er nogle interessante resultater i det. Når man fattes penge, så begynder man oven i købet nogle gange at læse en finanslov for hvert enkelt ord, og det har jeg gjort i år. Og det er således, at den ordning, vi har tilbage, der hedder værkpuljeordningen, den har faktisk lov hjemmel til, at vi kan køre med opfølgningsprogrammet i en eller anden udstrækning i nogle år fremover. Det vil også være sådan, at det er meget logisk at gøre, fordi vi forventer at give bevillinger til nogle demonstrationsanlæg inden så lang tid, hvis ikke den bliver taget af finansloven i sidste øjeblik. Det kan jeg jo ikke love, men den står der da i øjeblikket. Vi ved, at vi har faktisk mulighed for at lave en eller anden afsluttende runde for at prøve at hjælpe de nye anlæg, der kommer til, og det hedder jo så en periode fra 2003-2005.

Så er der en ting, som der måske ikke er så mange af jer, der har spekuleret på, som er positivt. Det er, at de har fået for lidt vand i Sverige og Norge – vi fik det her i Danmark i stedet for. Det skal vi nok kunne komme til at se på elprisen. Vi ved også, at man gør en masse for, at de der vindmøller, som det nok er nogen af jer bekendt, så har man fjernet tre havvindmølleparker, mens den ene af parkerne nu er kommet igennem pga. Samsø osv. Sådan så, at mængden af store havvindmøller, der kommer bliver taget op til debat enkeltvis i øjeblikket.

Så vil jeg lige slutte af med en lille opfordring, og det er fordi, at det kan jo godt være, at jeg har ret i noget af al det jeg står og siger. Bl.a. det, at vi egentlig ikke er så dårlig stillet, som mange går rundt og tror. Så derfor vil jeg jo bede jer om, fordi jeg kan jo så se, at der er nogle nye parter der spiller på den politiske scene, og om hvilken farve de har politisk, det har jeg ikke rigtigt kunne skele til om det ene var godt eller dårligt, for jeg vil da love jer for, at den nye regering uanset farve, vil komme ligeså meget til os, fordi de kan se, at der er noget rigtigt i det der foregår. Derfor vil jeg så opfordre jer alle til at synliggøre biomassen. Synliggør forskningsresultaterne. Synliggør at vi eksisterer

og befinder os internationalt meget højt på verdenskortet. Gå til pressen – påvirk finansloven for 2003, for der er jo ikke nogen der siger, at det er givet det der foreligger nu, det kan jo godt være, at man skød forkert ligesom at hæve fartgrænsen til 130, eller noget andet man har skudt forkert i.

Fremtiden

Synliggøre biomassen (DOKV)

- Dvs. gå til pressen

Påvirk finanslov 2003

Implementere \Leftrightarrow forbedre vilkår

Eksportere teknologier til lande med bedre markedsvilkår

Ubådstaktikken

- Bevare internationale høje niveau uden omkostninger
- Skabe hjemmemarked

Ja så tror jeg egentlig, at vi springer ned til den der hedder ubådstaktikken. Den er der jo nok nogen af jer, der har hørt mig nævne før. Det er, at når der er mange krusninger på vandet, så er det rart at være en ubåd. Så kan man stikke periskopet op engang imellem og kigge på, hvad foregår der egentlig og skal vi ovenpå for at se, om det er noget vi skal blande os i? Det er Steen Rolf, en af vores gamle forskningsmedarbejdere, som har fremsat den taktik. Et af de væsentligste pointer i den taktik er, at vi befinder os altså nu på et højt internationalt niveau. Og det er vigtigt at vi ikke bare smider det væk. Det kan da godt være, at der kommer et magert år efter syv gode, men det skal vi da ikke lade os slå ud af. Så kom bare ud og bevar det!

Jeg kan da også sige, at det ser ud til, at vi er det land i Europa, der endnu engang hiver flest kommissionspenge hjem. Det ligner omkring 120 mio. de tal vi kigger på i øjeblikket. Det er ca. 10 mio. mere end sidste år. Så der må være en årsag til, at det er lille Danmark, der modtager så mange penge fra kommissionen. Vi må rettere sagt lave nogle gode projekter. Og det er så det med, at vi skal forsøge at bevare det store internationale marked og sørge for at synliggøre os.

Til sidst, nu har jeg ikke lige lagt mærke til, om han er dukket op, men der er desværre sket det i Energistyrelsen, som så mange andre steder, at vi mistede 40 mennesker her. Og vi skal miste 40 mennesker mere. Så vi bliver skåret ned fra 240 til 160 i 2005. Det kan selvfølgelig ændre sig, hvis der kommer nye opgaver. Men jeg vil meget gerne benytte lejligheden til at takke Klaus, for de mange års arbejde, han har gjort her indenfor området, for der er bestemt mange af de ting han har haft fat i, som mange af jer har modtaget støtte til, og hjulpet jer igennem med. Jeg synes vi skal klappe af Klaus engang, for de mange år han har hjulpet os. Ellers vil jeg sige tak nu!

Spørgsmål:

Flemming Øster, Elkraft system: Det var en interessant oplysning du gav om, at PSO'en fortsætter på 66% niveauet. Hvornår hører vi der administrerer PSO midlerne om den beslutning?

Henrik Flyver Christiansen: Ja det kan jeg jo ikke svare på selvfølgelig. Men jeg kan da sige, at vi er kommet med nogle indstillinger, og jeg har ikke sagt 66%, jeg har sagt ca. 2/3 tror jeg det var, og det tror jeg godt du kan regne ud, hvorfor det ser sådan ud. Men vi er kommet med en indstilling og som Lise og jeg har snakket om tidligere, så har den jo ligget ovre i ministeriet. Så vi er spændt på, hvad de siger. Man kan regne det ud på lidt forskellig vis. Jeg ved ikke om I er klar over, at elsektoren faktisk bruger over 100 mio. kr. på tv-reklamer for øjeblikket. Og så kan man diskutere, om de skal beholde PSO eller de skal lave tv-reklamer.

Lise Nielson: Mener Henrik Flyver Christiansen at Elkraft skal betale hele PSO alene. (i forbindelse med at Elkraft ikke laver tv-reklamer).

Vølunds forgasningsaktiviteter

ved Bjørn Teislev, Vølund

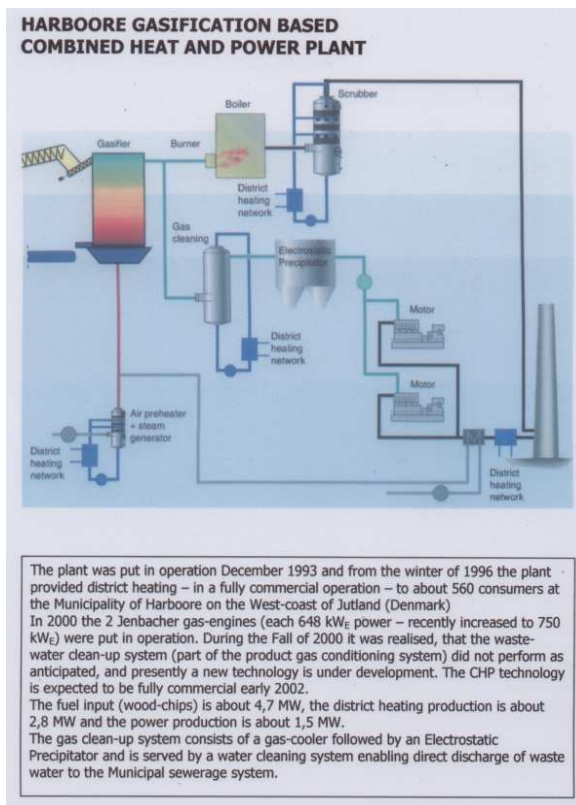
Så vil jeg prøve at underholde de næste 20 min. Det vil selvfølgelig hovedsageligt dreje sig omkring vores forgassere. Men jeg vil også lige gå ind på nogle andre punkter, ganske kort hen imod slutningen.

Nu er der blevet talt meget om Habøøre-forgasseren igennem mange tidligere møder her på teknikdagen. Men for dem som er nytilkomne, vil jeg meget kort sige, hvad det hele drejer sig om. Det er en modstrømsforgasser, der står oppe i Harboøre.

Selve forgasser enheden ses her:

Den er fyret med træflis, og igennem mange år, brændte vi bare gassen af i en kedel til at levere fjernvarme med efterfølgende røggaskøling til fjernvarmesystemet. Så har vi siden 1996 beskæftiget os med rensning af denne gas for motordrift. Det har været hensigten hele tiden. Og vi lagde ud med at prøve at bruge katalytisk rensning af gassen ved højtemperatur og det kom ikke rigtigt til at fungere, og så gik vi videre med våd brændgasrensning. I dag er vi så havnet op i, at vi bruger en gaskøler, efterfulgt af et elektrostatiske filter til at fjerne tjære og vand fra gassen, sådan så gassen er kølet ned til en temperatur, så den acceptabel for de to Jenbacher motorer, der står deroppe.

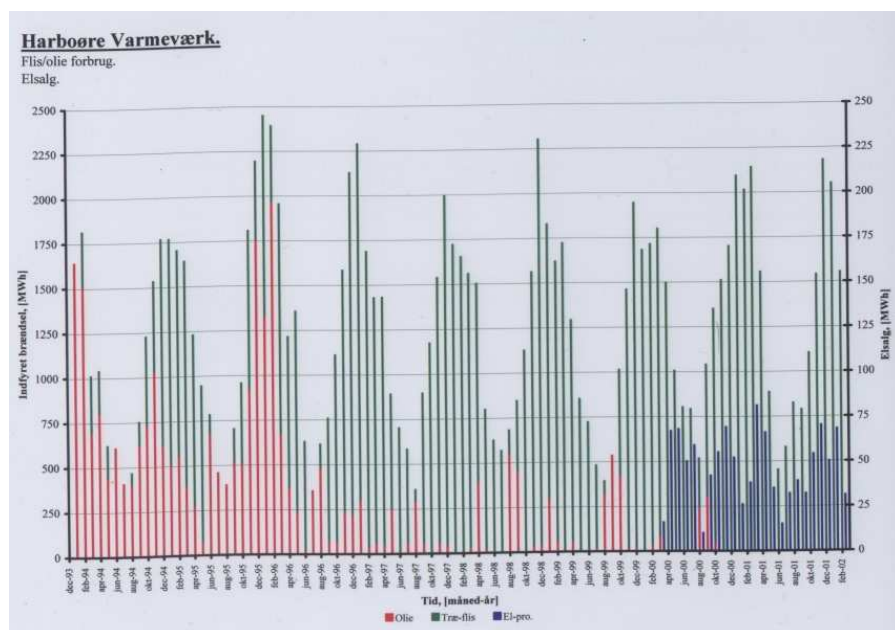
Nå man taler om forgassere, så hører man jo mange anlæg, der kører over hele verden. Jo tættere man kommer på disse anlæg, desto mere opdager man, at de ikke kører. Nå man er helt henne ved anlægget, er det som regel koldt.



Figur 1

For at vise, at anlægget rent faktisk har kørt deroppe, så har vi her en driftsstatistik over brændselsforbruget, hvor det grønne er biomassen, det røde det er støttefyring med spildolie vi brugte i starten, og det blå det er elektricitetsproduktionen.

Man kan tydeligt se, at i starten så det ikke særlig lyst ud for Vølund, idet hovedsageligt al brændslet deroppe var spildolie.



Figur 2

Men fra 1996 var vi i stand til at drive forgasseren kommercielt og der blev den også erklæret som kommercielt produkt i sig selv i selskabet. Så satte vi to motorer på i april 2000, og hvis man regner lidt, kan man godt se, at det ikke er yderst imponerende. Det er selvfølgelig imponerende, at den kører med el-produktion. Men hvis man prøver på at se, hvor meget brændsel, der er fyret ind og hvor meget el, der kommer ud, så er det ikke ret meget. Det er ikke fordi virkningsgraden er lav på anlægget. Det er simpelthen fordi, at anlægget ikke kan køre ret lang tid af gangen. Ikke pga. direkte mekaniske problemer, men pga. spildevandsproblemer for rensesystemet. Og det vil jeg komme en hel del ind på om et øjeblik. Gassen vi producerer på anlægget:

DATE: 07-03-2000	H2%	CO%	CO2%	O2%	CH4%	N2%	Hn(MJ/Nm3)
12:00-13:00	19,30	21,80	12,80	0,15	5,50	40,45	8,56
13:00-14:00	19,20	20,50	13,50	0,15	5,50	41,15	8,37
14:00-15:00	18,20	22,80	11,90	0,16	5,20	40,72	8,56
15:00-16:00	18,70	23,00	11,70	0,20	5,40	41,00	8,59
16:00-17:00	19,00	23,70	11,40	0,18	5,40	40,32	8,70
17:00-18:00	19,40	25,20	11,60	0,17	5,20	40,43	8,66
18:00-19:00	18,30	24,80	10,50	0,19	5,20	41,01	8,72
Mean value	19,01	22,85	11,91	0,17	5,34	40,73	8,59
Standard deviation	0,39	1,37	0,88	0,02	0,14	0,33	0,12

DATE: 08-03-2000	H2%	CO%	CO2%	O2%	CH4%	N2%	Hn(MJ/Nm3)
10:00-11:00	18,20	21,80	11,80	0,26	5,10	43,04	8,28
11:00-12:00	19,10	21,70	12,60	0,18	5,80	40,32	8,55
12:00-13:00	18,20	24,80	10,70	0,20	5,60	40,60	8,64
13:00-14:00	17,10	25,90	9,70	0,19	5,40	41,71	8,80
14:00-15:00	18,10	26,00	8,40	0,22	5,10	40,18	7,06
15:00-16:00	18,80	26,90	9,40	0,16	5,60	39,32	7,15
16:00-17:00	17,20	27,60	8,70	0,24	5,20	41,06	8,95
Mean value	18,07	25,21	10,19	0,21	5,37	40,95	8,80
Standard deviation	0,72	2,68	1,58	0,03	0,24	1,19	0,30

**Representative dry and tar-free product gas composition at the Harboøre plant
(Danish Technological Institute report May 5th, 2000)**

Figur 3

Det er nogle målinger fra et på år siden, hvor vi kan se, at vi ligger omkring en 18-19% brint, og så er der noget CO i den. CO'en kommer vi lidt tilbage til på et senere tidspunkt. Og så er der selvfølgelig nogle fyldstoffer. Der er noget metan, og vi kører med en brændværdi omkring 6,7-6,8 sådan rimelig stabilt.

Vores vandrensningssystem er baseret på en vådgasrensning – køling af gassen for uddrivelse af tjære og vand og det giver selvfølgelig en masse vand, og her har jeg et eksempel. Det er ikke sådan det kører i hele tiden, men det er sådan det typisk kører, at vi producerer omkring 1200 liter vand i timen, når motorerne kører på fuld kraft.

HARBOORE Waste Water (kg/h) at 1536 kW Power

	Heavy tar	Light tar	Water	Particles	TOTAL
Primary gas cooler	55	185	756	2	998
Secondary gas cooler	4	13	54	0	71
Electrostatic precipitator	36	31	124	0	191
TOTAL	95	229	934	2	1260

Typical light tar contaminated waste water (mg/litre)

Acetic acid	14200
Formic acid	1900
causing an acidity of	2.03
Phenols	733
Guaiacol	1330
Dihydroxy-benzene	1400
Other phenols	2540
Total Organic Carbon (TOC)	46000

(B. Telskov, BWV R&D Centre, February 2002)

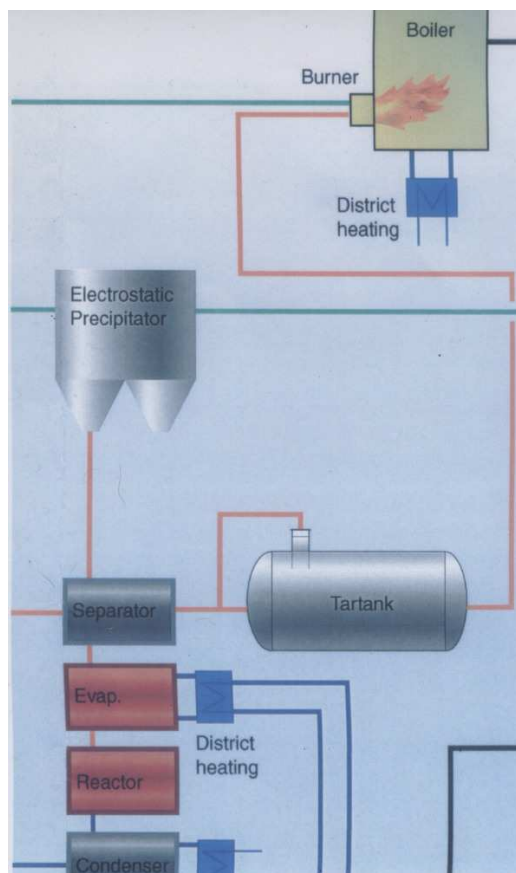
Figur 4

Og vi kan se, at der er to forskellige gaskølere og dråbeudskillere eller den elektrostatiske filter. Og vi kan se, at den gør faktisk også en vis gavn, idet en 40% af den tunge tjære rent faktisk tages ud igennem den. Men vi kan se, at det der kommer ud, det er, at disse 1200 liter vand er ikke af drikkevandskvalitet. Det indeholder tung tjære, som er ret let at skille fra og så indeholder det en vandopløselig tjære, som er noget djævelskab, som jeg kommer til om et øjeblik. Og så selvfølgelig noget vand og nogle partikler, som er i den vandige opløsning af tjære. Der er et typisk eksempel, se ovenstående figur. Det kan godt svinge lidt. Men vi kan se, at der en hel del syre i – det er målt i mg/l. Og det er syre. Både eddikesyre og myresyre, det giver en PH-værdi sådan rimelig lav. Og så er der en række phenoler, og en række forskellige andre højere organiske forbindelser. Det totale organiske kulstofindhold ligger typisk omkring 50 g/l. Og det kan vi jo ikke bare lige lukke ud i kloakken. Derfor var det planen, da vi satte anlægget i drift i april 2000, at der umiddelbart efter skulle installeres et vandrensingsanlæg, som var blevet forsket og testet en hel del. Det var baseret på ultrafiltrering og omvendt osmose. Og det anlæg kom fra et norsk firma, og alle var lykkelige lige indtil man startede anlægget. Efter nogle ganske få timers drift, så var membranerne direkte til lossepladsen. Og det førte også til, efter lidt tovtækkerier, at det norske selskab måtte tage deres leverance tilbage. Og så stod Vølund jo med håret i postkassen. Vi måtte opfinde en proces selv, som kunne tage hånd om dette her spildevand, jeg vil ikke komme særlig dybt ind på den lige her og nu. Men jeg vil fortælle noget om resultaterne af den.

Vi ser lidt af den tegning vi så i starten:

Figur 5

Her har vi den elektrostatiske filter, der leverer vand ned – det er den røde streg der, og der kommer vand fra gaskølerne ind i en separator. En simpel lamel separator, hvor vi skiller den tunge olie fra. Det går faktisk ganske fortrinligt. Det der kommer ud af den, det er en vandig opløsning af tjære, som vi gennemfører vores proces på, ved at vi fra motorens udstødning låner noget varmt vand, som vi bruger til en fordampningsproces, og en udskillelse af den lette tjære. Den lette tjære, der måtte være tilbage i de vanddampe, der kommer efter fordampningsprocessen, slår vi ihjel i en højtemperatur reaktor med noget varmegenvinding i. Den varme, som vi lånte fra motorerne, den leverer vi tilbage ved at kondensere vanddampen. Så vi har bare lånt noget varme i processen. Resultaterne af denne proces, nu så vi lige i starten her hvor forfærdende indholdet af smagsstoffer var i den, det er ikke noget der er rart at se på.



Men efter vores proces, og her må det siges, at den har vi først kørt med en 2-3 liter i timen enhed, det er længe siden. Så kørte vi her i vinteren med en 50-60 liter i timen enhed, og her i marts sætter vi et fuldt anlæg i drift. Det vand som kommer ud efter rensning, det er så rent, at jeg ved, at der er nogle folk her i lokalet, som rent faktisk har drukket af det vand uden at komme tilsyneladende til skade. Og det er faktisk enormt rent. Men her kan vi se, hvad der kommer ud, der er en række prøver taget mellem d. 25/10 og d. 1/11, hvor vi kørte en intensiv serie:

TARWATC - effluents									
(Babcock & Wilcox Volund R&D Centre, November 2001)									
Sample	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	mean-value
Date	25-10-01	25-10-01	25-10-01	25-10-01	31-10-01	31-10-01	01-11-01	01-11-01	
Hour	00:13	03:20	11:15	11:20	00:30	11:25	10:55	11:00	
TOC (mg/L)	13	11	10	9	18	16	13	12	13
pH	3.27	3.65	3.65	3.75	3.45	3.43	3.43	3.60	3.53
Acid equivalent/L	0.0016	0.0014	0.0008	0.0008	0.0016	0.0013	0.0010	0.0011	0.0012
Phenol (mg/L)	0.20	0.10	0.10	0.20	0.30	0.10	0.10	0.10	0.15
Guaiacol (mg/L)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.10	0.10	0.07
Naphtalene (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Antracene/Phenanthrene (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Pyrene/Flourenthene (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Formaldehyde (mg/L)	1.0	1.6	2.0	2.1	1.9	3.3	1.5	1.4	2.0

Figur 6

Det organiske kulstofindhold, det er faldet til 13 typisk, fra omkring 45900, som vi så på den anden overhead. PH-værdien er røget lidt i vejret. Men phenolerne som startede helt oppe totalt, alle de ting der står der, de lå oppe på omkring 9000-10000 mg/l. De er nu nede på 0,2 mg/l typisk. Så det er relativt rent vand. Der er lidt formaldehyd i det. Men det er sikkert godt til at bevare mavevæggen. Så vandet er rent, og det er også derfor, at vi under vores pilotforsøg har vist, at vi kan lave rent vand, som ikke har skadelige virkninger på noget som helst, og der er gennemført forsøg med biologisk hæmning på Lund Universitet, hvor man har prøvet at slippe nogle baktusser løs på det, for at se, om de havde det bedre eller dårligere, og de har ikke bemærket noget som helst. Så vandet er ikke særlig farligt. Analyserne af alt dette her, det er foregået under opfølgingsprogrammet på Risø – analysen af alle disse forskellige/mærkelige stoffer. Som sagt på Lunds Universitet under opfølgingsprogrammet målte man på biologisk hæmning. Det var så vandenden, og det var sådan set den, vi længe har været mest bekymret for.

Så har vi for motorerne. Det er sådan så miljøstyrelsen i sin uendelige visdom har lavet nogle regulativer, der fortæller, hvordan CO-indhold osv. skal være fra en formodentlig naturgasfyret motor. Nu er det jo meget svært på en motor, hvor en meget stor del af brændstoffet er CO at sikre en 100% fuldstændig forbrænding, men det har man ligesom overset i disse vise haller der. Man kræver 500 mg/Nm³ CO i motorrøggassen. 1500mg/Nm³ CH₄ og alt sådan noget. Og så noget NO_x.

EXHAUST FROM HARBORE ENGINES	
Required*	Measured
500 (mg/Nm³) CO	1500 - 1800 (mg/Nm³) CO
1500 (mg/Nm³) UHC	50 - 60 (mg/Nm³) UHC
550 (mg/Nm³) NO_x	400 - 500 (mg/Nm³) NO_x
- referred to 5% flue gas O₂	
*Danish Ministry of Environment regulation #720	

Figur 7

Vi kan se, at vi klarer det fint, for så vidt angår UHC'er og NO_x, der ligger vi sådan lige på kanten. Men med CO har vi et problem og det er selvfølgelig fordi, at en meget stor del af vores brændgas er CO. Anderledes kan det jo ikke være med en forgasser.

Vi har så kørt på nogle katalysatorforsøg, for vi vil selvfølgelig prøve at komme ned på det niveau, som myndighederne gerne vil have os til at komme ned på. For vi kan jo ikke have, at der er udviklet et forgasningsprojekt for flere hundrede mio. kr. efterhånden, og så må man lukke det, fordi man måske har taget fejl i en vurdering af hvilke krav, man skulle stille. Jenbacher, som har leveret motorerne, har så kørt nogle forsøg med en katalysator deroppe:

Harboøre Varmeværk

Daily report - catalyst test

Gasengine 1 - Jenbacher JMS 320 GS-S

Date	Time	Gasengine	Catalyst	Temperature			Pressure			O ₂	GD-emission			Reduction
		Operating hours	Operating hours	Before	After	CH ₄	Before	After	Diff.		Before	After	After	
		[h]	[h]	[°C]	[°C]	[°C]	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	%	[ppm]	[ppm]	[ppm]	%
28.09.2001	11:14	1020	18	485	484	18	523	540	88	8.8	805	485	787	70
28.09.2001	13:21	1023	19	475	485	15	553	580	98	9.1	850	460	687	76
01.10.2001	08:55	1025	21	460	472	12	620	571	79	8.5	1515	439	702	73
01.10.2001	13:30	1029	25	470	493	10	660	614	66	8.7	1850	365	623	77
02.10.2001	10:45	1031	27	485	479	14	540	578	84	8.5	1820	426	682	74
02.10.2001	11:34	1034	30	480	485	8	530	550	80	8.2	1535	364	658	78
05.10.2001	11:18	1038	34	478	483	11	530	530	80	8.5	1042	445	730	73
06.10.2001	13:30	1044	40	485	498	31	550	567	83	8.6	1785	371	599	78
11.10.2001	11:30	1048	44	474	494	20	540	560	80	8.1	1794	351	644	80
11.10.2001	19:31	1048	44	458	483	20	640	580	80	8.8	1835	397	657	78
16.10.2001	13:20	1058	54	478	480	12	640	563	77	8.3	1850	811	808	74
23.10.2001	12:25	1068	64	475	483	8	670	567	83	8.7	1888	380	683	78
31.10.2001	15:00	1095	89	475	482	7	643	565	78	8.4	1875	379	682	80
2.11.2001	11:30	1127	143	472	482	10	630	550	80	8.5	1802	405	688	78
03.01.2002	12:30	1251	247	480	472	13	670	584	86	5.0	1702	427	728	74
03.01.2002	12:31	1251	247	657	478	11	640	590	80	5.1	1500	441	654	73
		231	247	478	484	14	647	585	78	3.6	1717	613	658	76

Figur 8

De blå tal, det er så deres resultater af det, der kommer ud. Man kan se, at det ligger nede omkring 450-800 mg/m³ baseret på 5% ilt. Det er så et spørgsmål, om det kan accepteres. Anlægget bliver dyrere selvfølgelig, så elprisen vil selvfølgelig stige. Deres reduktion på deres katalysator, og det er måske endnu mere interessant, man kan se de har kørt ca. 100 timer. Katalysatoren har fastholdt en reduktion faktisk tæt på ca. 80%. Mange katalysatorer har det jo med at miste pusten efter et stykke tid. Der er noget der tyder på, at denne her katalysator godt kan klare sig et stykke tid.

Af andre sjove ting i røggassen, der har man fra Teknologisk Institut målt på røggassens PAH-emission:

PAH data for Engine #1 Harboore (10^{-6} g/Nm³,dry)				
<i>(Danish Technological Institute, October 2000)</i>				
	Before ESP	After ESP	After Engine	Boiling point (°C)
Naphtalene	37000	6300	4,7	218
Acenaphthylene	3900	77	<0,05	270
Acenaphthene	2300	49	<0,05	278
Flourene	5500	<18	0,13	298
Phenanthrene	9800	<18	1	340
Anthracene	2800	<18	<0,05	340
Flouranthene	1700	<28	0,19	367
Pyrene	1700	<28	0,42	393
Benzo(a)anthracene	900	<35	<0,12	400
Chrysene	900	<35	<0,12	410
Benzo(b,k)flouranthene	800	<35	<0,12	480
Benzo(a)pyrene	500	<35	<0,12	495
Indeno(1,2,3-c,d)perylene	<800	<70	<0,025	500
Benzo(g,h,i)perylene	<800	<70	<0,025	510
Dibenz(a,h)anthracene	<800	<70	<0,025	520
TOTAL PAH	68000-70000	6500-6900	6,4-7,1	

Babcock & Wilcox Vølund R&D Centre - august 2001

Figur 9

Og det er klart, at der er meget store total PAH i selve brændgassen. Men det siger jo sig selv. Men det, som er interessant, er, at det vi slipper ud i guds natur, det ligger på en $6-7 \mu\text{g}/\text{cm}^3$. Så det er, jeg er ikke sikker på, at man kan leve i sådan en atmosfære, men jeg tror ikke den er så farlig, som det der i hvert tilfælde. Og det er så specificeret ned for alle de forskellige ting, og vi kan se at hovedparten er i øvrigt naftalen som den væsentligste PAH-kilde. Men om miljøstyrelsen vil lave en regel, der siger at den skal være 5 og ikke 6,4 det ved vi jo ikke. Vi lever jo livet farligt i industrien.

Så kommer vi til et punkt, som jeg regner med at Helge siger noget mere om senere og det er omkring klor i olien. For det er faktisk det eneste tilbageværende problem, jeg ser på anlægget. Og det er sådan, at en modstrømsforgasser tilsyneladende producerer methylchlorid. Den methylchlorid kommer ind i motorcylinderne, hvor der foregår en forbrænding, så dannes der klor og så går det i olien. Er det ikke rigtigt Helge – på lægmands niveau. I hvert tilfælde kan vi se, at motorolien den slides meget hurtigere. Den skal vel skiftes en 3-4 gange oftere end ved naturgasmotorer. Det kan man sige, det betyder måske en driftsomkostning på en 0,3-0,4 øre mere pr. kWh, men det er jo en træls omkostning, som vi siger ovre i Jylland, træls at have.

Vi har prøvet med forskellige olier, og oprindeligt var det jo Mobile Oil, og så kom Castrol og sagde, at de var betydelig bedre til det her, bare lad os komme til. De kørte så det der, og det var jo ikke...:



Figur 10

Der er noget som Mobile kan, som Castrol ikke kan, de kan lave sådan et hop tilsyneladende. Men det er klart, det er et hængeparti, vi har, og det er noget med, at hvis vi kan få løst det problem, så kan vi vel få en 50000 eller 100000 mere om året ud af Harboøre anlægget, og det er jo interessant selvfølgelig. Men det begrænser jo også de investeringer, der kan gøres i en sådan kemifabrik, der skal spændes på anlægget. Så det kan godt være man accepterer, at olien skal skiftes en 3-4 gange så ofte. Det var sådan set det jeg umiddelbart ville sige om Harboøre.

Så vil jeg sige lidt om nogle andre ting vi går og arbejder med. Nu har vi jo arbejdet i Vølund forskningscenter med forgassere i masser af år efterhånden, og vi sagde, at nu må vi se på andre forgasningsprocesser også. Også fordi vi ved, at ligesom med vores cigarbrændere, så vil kunderne lige pludselig begynde at kræve meget meget større enheder.

Modstrømsforgasseren har det problem, at det ikke er sikkert, at den kan opskaleres til mere end en 16-17 MW indfyring. Så derfor har vi kigget os om efter andre processer, og vi har længe fulgt totinsprocesserne, som er udviklet herude på DTU:

DOKUMENTEREDE RESULTATER

FRA 2-TRINS PROCESSEN:

- Når pyrolyse og forgasning er fysisk adskilt med en zone, hvor volatiler oxideres partielt vil tjæreindholdet i produktgassen være under 25 mg/Nm^3
- Efter yderligere køling og filtrering vil tjæreindholdet reduceres til omkring 5 mg/Nm^3
- Koldgas effektiviteten er verificeret til $> 95\%$
- Den producerede gas har et højt H_2 -indhold og et lavt indhold af CO. Dette er af betydning for specielt gas-motorer

Figur 11

Det vi har set her, jeg ved ikke om det er rigtigt fortolket, det er, at hvis man holder pyrolyse og forgasning i fysisk adskillelse, hvor vi har en oxidationszone ind imellem, så kan vi få tjæreindholdet i produktgassen ned.

Det er i hvert tilfælde, hvad visse laboratorieforsøg har vist. Så vidt jeg kan fatte i hvert tilfælde. Man har også kølet yderligere og filtreret osv. og reduceret tjæreindholdet langt ned, og man kan sige alene dette er jo tilstrækkeligt til, at en motor vil gnaske det i sig med stor fornøjelse.

Koldgaseffektiviteten har man pga. intern energiudnyttelse osv. kunne holde ret høj. Og det, der så er speciel interessant, set i lyset af det jeg sagde før om CO, det er, at man har indtryk af, at der kommer et højt H_2 -indhold, altså reduceret CO-indhold, og det er jo meget godt, for så kan det jo være, at vi kan komme ned på grundlæggende lavere CO-værdier på maskineriet. Denne overhead står for min egen regning:

UP-SCALED 2-STAGE GASIFICATION

OBJECTIVES

- High cold-gas efficiency > 95% and Power efficiency > 40%
- Simple, operationally stable and compact process
- Low intrinsic product gas tar content - i.e. simple gas clean-up

SCHEDULE

- Spring 2002 - laboratory scale experiments
- Summer 2002 - process verification
- 2003 - Process Development Unit (500 - 1000 kW_{TH})
- 2004 - 2005 - Semi-commercial operation

CO-OPERATION

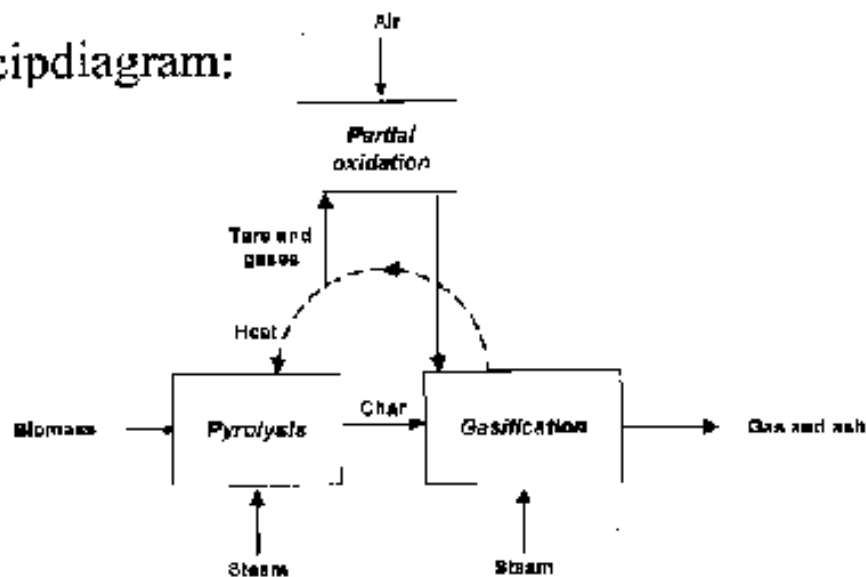
Babcock & Wilcox Volund, Technical University of Denmark and COWI Consult

Figur 12

Til gengæld har de andre parter hjulpet mig med det her:

Opskaleret tottrinsforgasning

Principdiagram:



Figur 13

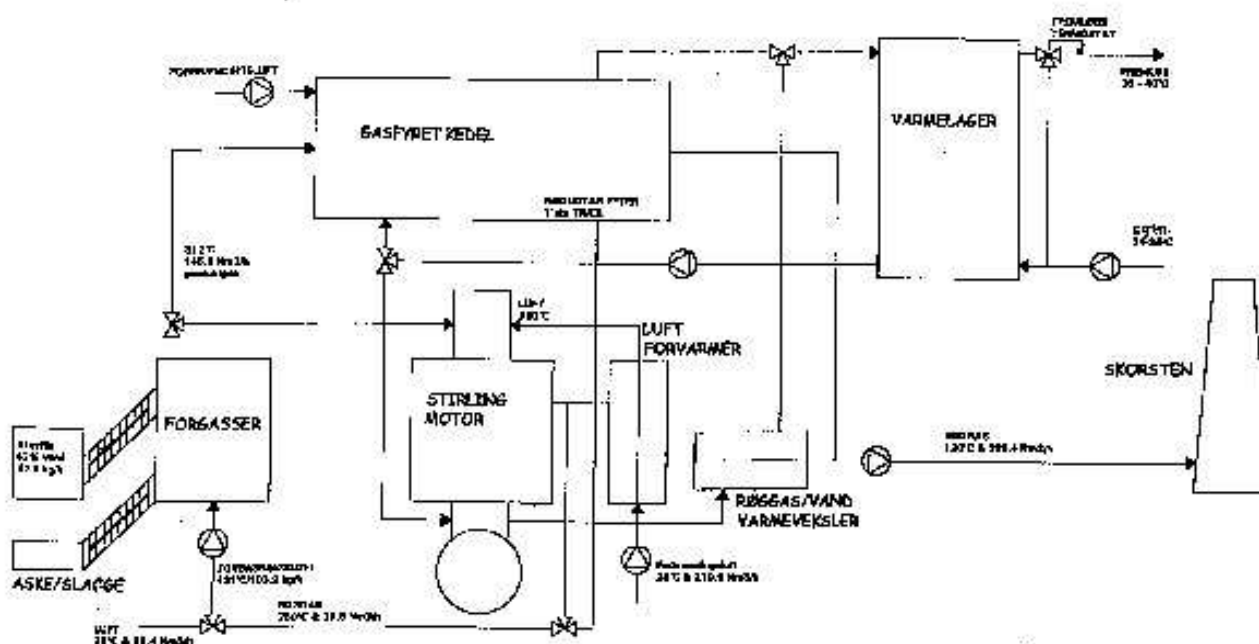
Her har vi et princip diagram, det er ingeniørtegningerne til processen, kan man sige. Det er sådan vi vil sende den til værkstedet, hvor vi har en pyrolyseproces, hvor vi foretager en damppyrolysering. Tjærene og gasserne kommer op – det er jo sådan set det der forlader Håboøre-forgasseren i store træk, det som kommer ud her. Det får sig lige et skud luft heroppe, så man brænder det meste af tjæren væk ved en partiel oxidation. Det videnskabelige baggrund for det, det er der folk her i huset, som ved betydeligt mere om end jeg. Men jeg kan godt forstå princippet. Og så går det tilbage til en forgasningsproces. Denne gas, som nu er rensat for tjære, sammen med det kul, der nu kommer fra pyrolyseprocessen - så tilfører vi mere damp til selve forgasningsprocessen, fordi en dampforgasning alt andet end lige er en hurtig proces, hvis man ellers kan få det til at køre. Så kommer der gas og aske ud af processen.

Vi er så i gang med et projekt sammen med COWI, DTU og så os selv selvfølgelig. Målene her er, med baggrund i alle de laboratorieforsøg og andre ting, der er lavet af undersøgelser, at prøve at få bekræftet, at vi har en høj koldgaseffektivitet, og vi kan opnå store el-virkningsgrader på et sådant anlæg. At processen er stabil, således det ikke er som de utallige forgassere jeg har været ud at se på, som lige har kørt tre timer indtil sponsorerne har sagt "okay de penge var givet godt ud", så lukker vi anlægget. Vi skal have det til at køre rimelig driftsikkert.

Der også er en lav grundlæggende tjæreindhold i gassen, så vi kan få et meget simpelt gasrensningssystem. Vi er allerede nu i gang i dette samarbejde her med at lave nogle laboratorieeksperimenter, og i løbet af sommeren en verifikation af væsentlige dele af processen. Så håber vi på i 2003 at kunne lave, hvad jeg kalder en "proces development", fordi vi er et amerikansk firma, så er vi nødt til at bruge sådan nogle betegnelser, på en lille MW, og så komme i kommerciel operation senere. I lys af vores Harboøresag og vores Vølund forgasningssag, der ved vi godt, at det ikke er sikkert, at det går så hurtigt, men vi skal bare have sat ressourcerne ind.

Så er der lige et par småting til, jeg lovede Henrik Carlsen, som vist ikke er her i dag, og fortælle lidt om, hvad vi laver med små forgassere.

Vi har en 200 kW forgasser, der står på et gods ude i Vestjylland, den har vi her:



Figur 14

Vi har en af Henrik Carlsens 35 kW forgassere her. Der er vi i gang med at køre nogle forsøg derude. Der er nogle problemer hist og her, med tjære i rør osv. Det har vi meget morskab med. Systemet er bygget op med en forgasser, hvor vi også kan levere varme til et varmelager via en gasfyret kedel, og vi har vel kørt en ca. 500 timer forgasningen og 250 timer med stirlingmotoren, med en virkningsgrad omkring 18%, hvis vi skal være høflige. Det er en meget speciel godsejer, så han har insisteret på, at anlægget bliver bygget ind i et sådant maskinhus, som det der. Og vi har nogle billeder af det fra montagen, det er vist skorstenen man er ved at sætte på plads her og der nogle forskellige dele af forgasseren vi ser her.

Men det er en meget lille forgasser, og det er ikke Vølunds hovedinteresseområde. Vi vil nok give licens på den der, hvis den kommer til at virke. Så vil vi få nogle, som kan producere sådanne små enheder, til det.

De sidste to ting jeg så vil sige. Nu har jeg sikkert overskredet mine beføjelser. Det er to ting. De to ting er, at vi har haft en del samarbejde med Kommunekemi, og har forgasset trykimprægneret træ, fordi vi har arbejdet med forgasningen og Kommunekemi har arbejdet med de miljømæssige problemer også plus forgasningen. Fordi, de er ikke små, problemerne med arsen, og hvad der ellers måtte være. Det ser ud til, at det kan forgasses, og det ser ud til, at kommunekemi har hold på en proces, så man kan rense det her, må jeg sige så meget Hr. Kristensen? Ok.

En anden ting, det er så noget vi arbejder videre med og håber at komme videre med. En anden ting, vi har arbejdet med ovre hos Kommunekemi, det er, at vi har prøvet at forgasse RDF-piller altså organisk affald, der er presset og tørret i piller. Det er sådan nogle kemiske opløsninger.

Det, som er lidt interessant i denne sammenhæng. RDF-pillemarkedet er meget stort rundt omkring, ikke så meget her i Danmark, men der er masser af steder, hvor der er store mængder af det. Det, der så er interessant, det er, at vi producerer en gas, der er stort set ligner Harbøregassen.

Vi kan se, at RDF-pillegassen, nu er der mange decimaler på her, det er for det skal se fint ud, Harbøregassen typiske værdier. Vi kan se, der er en interessantere ting – der er et lavere CO-indhold tilsyneladende i den gas. Det kan jo også som jeg sagde før med motorer være interessant, at holde CO'en væk fra maskineriet. Metan er nogenlunde det samme. Tjære det er nogenlunde det samme også. Det eneste, det er, at der er lidt flere partikler i, det er noget støvet snag det der.

RDF-pellet gasification	
RDF-pellet elementary analysis (wt):	
•C = 53.0%	
•H = 4.6%	
•N = 0.8%	
•S = 0.4%	
•Cl = 1.1%	
•O = 23.8%	
•Ash = 16.3%	
•Lower heating value = 12.9 MJ/kg	
Dry RDF-derived product gas composition (vol)	
as compared to woodchips gasification (in parenthesis):	
•H ₂ = 15.2%	(19.0%)
•CO = 14.2%	(22.9%)
•CO ₂ = 16.3%	(11.9%)
•O ₂ = 1.0%	(0.2%)
•CH ₄ = 4.3%	(5.3%)
•N ₂ = 49.0%	(40.7%)
•Tar = 80 g/Nm ³	(81 g/Nm ³)
•Particles = 2 g/Nm ³	(0.3 g/Nm ³)
Operational conditions:	
•Fuel feeding rate	63.0 kg/h
•Fuel humidification rate	87.8 kg/h
•Gasification air rate	72.9 Nm ³ /h
•Gasification steam rate	15.8 kg/h
•Temperature gasification medium	320°C
•Gas production (dry)	126 Nm ³ /h
•Gas production (wet)	251 Nm ³ /h

Figur 15

(spørgsmål fra salen omkring brændværdien?)

Brændværdien er 12,9 MJ/kg. Ikke på gassen, det har vi såmænd ikke engang skrevet på. Men det med brændværdi, det betyder ikke så meget. Man kan se på Harbøre, at det er oprindeligt naturgasfyrede motorer med 1 MW nominel effekt. De kører rent faktisk med 758 kW stykket. Så ydelsen går ikke ned proportionelt med gassens brændværdi, da der jo skal luft i også. Så vil jeg ikke sige mere.

Spørgsmål:

Steen Iversen, FLS Miljø: Har I nogle konkrete kommercielle projekter, som I forfølger med de her teknikker, og kan I få dem til at hænge sammen.

Bjørn Teislev: Vi har to konkrete projekter, og jeg kan ikke tale om dem her, men vi har to projekter. Det ene er et projekt på 24 MW, og det andet er et på 18 MW. Og det giver os de problemer mht. størrelsen på forgasseren, som jeg snakkede om før. Jeg tror såmænd godt man kan lave en større forgasser, end 16 MW, men vi har ikke prøvet, og det er jo ikke sjovt lige og prøve på fuld stil. Men vi er i gang, og vi har licensaftaler rundt omkring, vi skal også arbejde videre på. Så vi er begyndt at sætte sejlene til, for at få dem markedsført. Vi skal lige have verificeret alt omkring vores vandretningsproces, og den har jo som sagt kørt flere hundrede timer efterhånden på 50 liter enheden, så vi er rimelig skrækkelige nok. Nu må det bære eller briste.

FLS-miljø

Ved Steen Iversen

Jeg skal måske lige kommentere mit spørgsmål. Vores erfaringer er, at vi skal være meget kreative, for at få visse af teknologierne til at hænge sammen. Jeg tror vi har de samme problemer.

Jeg er blevet stand in for Karsten Felsvang her i dag, så jeg skal fortælle lidt om de forgasningsprojekter vi har i gang lige for øjeblikket. Der er mange fugle på taget, men dem der er listet op her, det er de konkrete, og hvor der ligger et stykke papir af en eller anden art, uden at det så betyder, at de bliver realiseret alle sammen. Jeg vil prøve at gå lidt igennem, hvad det er for nogle projekter/teknologier, og hvad der er kendetegnende ved dem. De forgasningsteknologier, vi arbejder med i dag, det er tryksat fluid-bed, hvor vi har et konkret projekt, som hedder bioelectrica i Italien. Det vil jeg komme lidt ind på. Vi har en atmosfærisk fluid-bed til motordrift, hvor vi har et projekt, som måske bliver til noget, måske ikke, men der er en kunde, som er interesseret i teknologien, men finansielt er det ikke helt på plads endnu.

Så har vi to nye teknologier, som det faktisk er første gang vi introducerer. Det er atmosfærisk turning grade (?), der er to udgaver, det ene er et anlæg vi har bygget her sidste år oppe ved Ålborg Portland, det andet er et projekt i England, som hedder Four Ashes. Et 17,5 MW kraftværk, med bildæk som brændsel. Den sidste, er mere forskningspræget – det er superkritisk fixed-bed eller katalytisk vådforgasning, hvor vi har et projekt med forschungscenium Karlsruhe i Tyskland.

Status på de her forskellige projekter er, at bioelectrica, det er 16 MW el, med flis som brændsel. Status er, at vi har en 4 måneders preengineering på det anlæg, og håber at vi kan lave det til en egentlig kontrakt senere i år. Det er også et EU-projekt som har været fremme i mange år, hvor vi er gået ind og har erstatet Lurgi. I kender formentlig projektet. Lemvig er 4,5 MW motordrift med katalytisk gasrensning, jeg kommer lidt nærmere ind på den. Four Ashes er et projekt som ligger klar, hvis vi tør tage risikoen. Ålborg Portland, har vi et anlæg kørende deroppe, som er designet til 20 MW termisk input, og har kørt op til 40 MW termisk input. Og det anlæg er i drift og vi kan sige, at vi lige har afsluttet en længerevarende kampagne deroppe. Det sidste er mere pilotskalaer. De der 0,1 MW termisk det er gæt, hvad skalaen er, det er 100 kg i timen. Og brændslet der, er spildevandsslam.

Bioelectrica projektet det er baseret på en forgasningsteknologi fra Carbona. En tryksat boblende fluid bed, som opererer på et tryk på ca. 25 bar. Der er så en køling af gassen. Man kan sige, at fordelene ved at køre tryksat, det er, at man behøver ikke at fjerne tjæren, eller den tjære, som bliver genereret er meget lav. Så vi har en køling og vi har en partikelfjernelse, som er et varmt filter, der kører ned omkring en 400-500°C. Det fjerner så partikler fra bedden. Det fjerner alkali stofferne. Tjæren går videre til gasturbinen i gasform, altså tjæren vil være på gasform i det system. Her er det tegnet som et stand alone anlæg. (overhead mangler)

Med den løsning som formodentlig bliver valgt på Bioelectrica, det bliver en samforbrænding med naturgas. Og årsagen til det, det er at komme lidt op i turbinestørrelse og lidt større effektivitet.

Lemvigprojektet er et projekt, hvor vi har en kontrakt med EU, og vi har støtte fra DOE også i det projekt. Lemvig fjernvarmeanlæg har så en ansøgning hos Energistyrelsen også. Projektet er afhængigt af om der kommer nogle værkpuljemidler. Teknikken som sådan er, at man har en brændselstørringstrin. Man kan sige hjertet af selve forgasseren er også koblet med fluid-bed med et lille positivt tryk. Der er et tjærefjernelsestrin og nu er der mange meninger om det der katalytisk tjærefjernelse. Man kan sige status med det, det er, at der bliver kørt test på Latvia-anlægget. Og status er, at det nu har kørt 1500 timer uden deaktivering af katalysatoren og FLS-miljø og Lemvig kraftvarmeværk sponsorerer yderligere 2000 timer. Nu ved jeg ikke, hvor mange katalysatoreksperter der er her, men det normale det er, at hvis en katalysator deaktiverer, så ser man det inden for de første 500 timer. Der er så nogle køletrin og en partikelfiltrering, og så er det el-produktion via Jenbacher motorer ligesom på Harbøre-anlægget. Det er konceptet.

Man kan sige virkningsgradsmæssigt ligger dette på ca. 32 %.

Så er der vores nyeste teknologi, som er blevet demonstreret i en fandens fart for at sige det mildt. Den er baseret på at skulle håndtere både hele dæk, lastbil- og bildæk. Der bliver hvert år genereret 15 mio. tons. Man kan sige i EU næste år bliver det forbudt at deponere dæk på lossepladser og 50 stater i USA er det også forbudt.

Bildæk er et rimelig energiintensivt brændsel. Brændværdien af dæk er ca. 25% højere end kul. Den teknik vi har, er en dækpyrolyse-proces, hvor vi tager hele dæk og omdanner dem til fastere gasformige brændsler. Et koksprodukt og en forgasningsgas. Det sker ved at varme dem op til mellem 500 og 700°C og selve opvarmningen sker ved at brænde en del af gassen af. Det tager ca. 20 min. at bage et dæk, og det er en meget simpel teknologi. Man kan spørge, hvorfor nu det mht. cementindustrien. Når man producerer cement, så er 30% af produktionsomkostningerne, det er energi. Det er attraktivt rent konkurrencemæssigt specielt når det er FLS-miljø, der går ind og laver en teknologi, hvor man får penge for at tage imod brændslet, og egentlig har en negativ brændselspris, og man har så yderligere, at man går ind og subsidierer med fossile brændsler. Og så er der en reel CO₂-besparelse, selvom man ikke opfatter et bildæk, som biomasse, så er der et naturgummiindhold, der kan være op til 2/3 af gummien. Det svarer til, afhængigt af dæktype en CO₂-besparelse på omkring 15-40% pga. naturgummi indholdet. Men selve teknikken er meget simpelt. Man føder dækkene ind ved et lidt specielt dækfødningsystem, der pakker dækkene tæt og lægger dem i et lag, og så kører man dem ind på en standard Stoker eller kul Stoker let modificeret. Der er ikke noget luftgennemgang inde i denne her, man putter den i realiteten ind i en bageovn. Den nemmeste måde at se det hele på, det er at bage en dæk, er som at bage en pizza, når temperaturen indeni er tilstrækkelig høj, så er den bare færdig. Og det tager ca. 20 min. Den producerede gas er koblet op til et calzine system. 60% af energiforbruget i cementproduktionen, den ligger i calzinesystemet, og der brænder vi det af. Calzinesystemet er så koblet op til en fluid-bed, det er ikke uproblematisk. Men det lykkedes os at køre det. Selve varmen den får vi fra et kontrolleret falskluftflow, det får vi ved at køre processen under et lille vakuum. Det, der kommer ud det, er her henne for enden af risten, der er der sådan et vådt askeudtag, der hvor koks og stål

falder ud. Det splitter man så bagefter op i to strømme, så man har en koksstrøm og en stålstrøm via en magnetisk separation. Det stål der kommer ud, det er i en kvalitet så det kan recycles. Hvis man ser bort fra anlægsinvesteringen, så får man faktisk penge for det hele. Man får penge for brændslet, man får penge for gassen, man får penge for koksproduktet, man får penge for stålet. Lidt billeder fra anlægget deroppe. Selve det her, det er indfødningsystemet.

Selve forgasseren er den enhed der står her. 12 m lang og et par meter højt. En større gaskanal der går til cyklon....

Dette kraftværk er Four Ashes. Der sidder en forbrændingsenhed, hvor den producerede gas brændes af ved en høj temperatur. Dvs. ca. 1600 °C. Så har man en almindelig afgaskedel og standard dampkredsløb. Man kan spørge, hvorfor overhovedet pyrolysere bildæk, hvorfor ikke bare brænde dem af? Tricket ved at gøre dette, det er, at man kan holde zink og svovl i koksproduktet tæt ved 100% og zink det giver normalt korrosionsproblemer og at få fjernet svovl fra gassen, det gør røggasrensningen noget nemmere. Koksproduktet, der kommer ud med zink i, kan man så sige har en så høj zinkkoncentration, at det kan sælges til zinkindustrien, hvor det går ind og erstatter antracitkul i zinksmeltere, og hvor man så genvinder værdien af zinken også. Lige et par billeder af koks og stål når det kommer ud her. Det ser sådan her ud. Man har så en magnet, der går hen og snapper stålet og så bliver det sådan nogle fuglereeder, når det bliver samlet op bagefter.

Den sidste teknik, vi arbejder med, er en højtryksforgasning ved anvendelse af en katalysator. Det sker lige under det kritiske punkt for vand og kan bedst sammenlignes med en trykkogning. Men det er en forgasningsproces, der foregår i vandigt miljø, hvor man får lavet en organisk fase og en vandig fase, når man ændrer på tryk og temperatur. Noget af det smarte ved det her, det er, at man får de uorganiske komponenter ned i den vandige fase, og den anden det er så rent effektivitetsmæssigt. At få meget våde brændsler, fordi man ikke behøver at fordampe vand i det er tilfælde, så har man mulighed for at køre meget høje virkningsgrader. Stadiet her det er 100 kg/time i fødestrøm, og det er i et såkaldt proofferkoncept stadie. Det var, hvad jeg havde at sige.

Spørgsmål:

Ulrik Henriksen, MEK: Det der Conveyor-system I har til den varme pyrolyseproces. Du sagde at der var omkring 500-700 °C inde i den. Dvs. I har sådan en kæde, der kan holde til 700 °C ind igennem den der, som trækker dækkene ind igennem pyrolysereaktoren. Er det bare sådan en man kan ringe og bestille, hvis man skal bruge sådan en?

Steen Iversen: Det vil jeg sige nej til. Man kan sige funktionen er stort set som en transportbånd den kan transportere det igennem, der findes kommercielle systemer, man kan købe til fremmetallurgiske industri.

Ulrik Henriksen: Det plejer vel at være ret bekosteligt?

Steen Iversen: Man kan sige, det er en solid konstruktion og temmelig

Henrik Flyver Christiansen, Energistyrelsen: Hvor mange dæk omsætter I deroppe i Ålborg, hvor meget går I til den, havde jeg nær sagt i forhold til, hvad vi har i Danmark?

Steen Iversen: omkring 75% lidt afhængigt af, hvad vi siger kapaciteten er. Nu er det stadigvæk et forsøgsprojekt og ikke et industriel anlæg endnu, men vi kører op til 4 tons i timen. Og et bildæk vejer ca. 8 kg pr. stk. Rundt regnet med et bildæk pr. person i Danmark, er det noget med 37000 tons om året vi laver i Danmark.

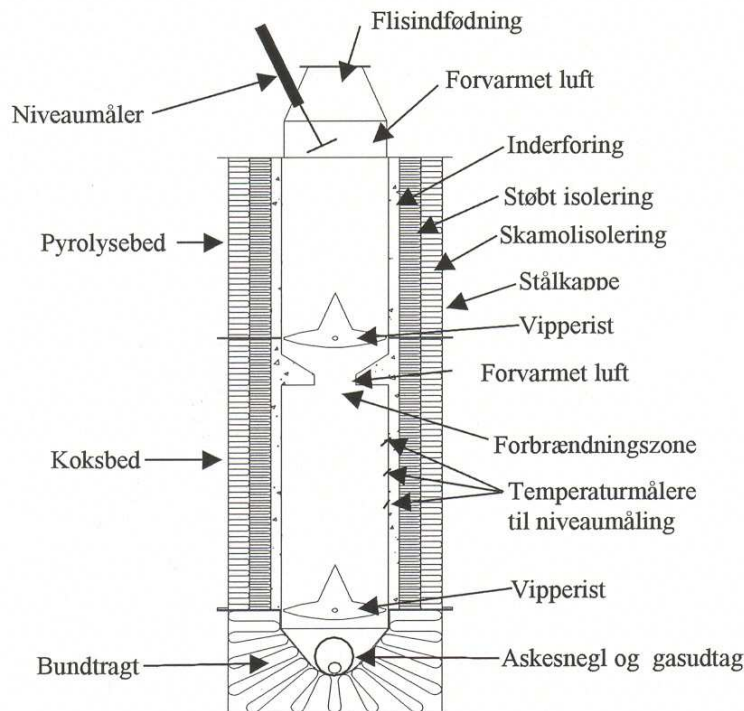
TK-Energis aktiviteter, indføddning og forgasning

ved Thomas Koch

Jeg hedder Thomas Koch, jeg kommer fra TK-energi. Vi arbejder med forgasningsteknologi og har vel gjort det i snart 12 år, og før det var jeg herude og hjalp med at lave de lykkes og ulykker, som blev lavet her. Jeg tænkte lidt over, hvad det egentlig var for nogle samarbejdsrelationer og mekanismer, der styrede vores miljø, og hvad det var for nogle ting, der skulle til for at klare sig de næste par år. Og ubådsstrategien er da meget god. Men den forudsætter jo ligesom også, at der engang imellem er nogen der stikker periskopet ned til en. Og derfor kom jeg til at kigge på programmet og var meget beæret over den måde, det var stillet op på.

Er der nogle af jer, der ved hvem O'Hagan og Venmann er? Næh! Er der nogen der ved, hvem Brian og Tyson er? Ja! Som I kan se, da Brian og Tyson skulle bokse, der lavede man et program, der så således ud. Først kom der to bantamvægttere og skulle bokse en forkamp. Så var der pause, så kom Brian og Tyson! (Latter) og Brian og Tyson kan I stadig huske, selvom Brian for tiden laver Ubådsstrategi, så er der stadig nogen, som spørger ham om, hvad han mener om alt muligt. Problemet er mere om Peder skal være Brian eller Tyson, og jeg må indrømme, at jeg har altså mest sympati for Brian, og jeg synes, at det er synd for Peder, hvis han skal være Tyson, så med fare for dumme vittigheder, så vil jeg sige, at jeg leger så Tyson i dag, og så får Peder så lov til at være Brian.

Vi har en række forskellige forgasningsaktiviteter, som vi kører. Det jeg vil koncentrere mig om i dag, det er vores tretrinsproces, og den udvikling den har gennemgået det sidste halvanden års tid, og så en lille smule om de periferiaktiviteter, som vi tror kunne være spændende for forgasning. Vi har en række projekter, og jeg skal undlade at præsentere den lange liste, kun præsentere et konkret projekt. Det ser sådan her ud: Det er en forgasser, vi har tilbudt til Gjøll kraftvarmeværk oppe i Nordjylland, og vi har lige for et par dage siden fået at vide, at der er gode chancer for, at EU-kommissionen vil støtte projektet med 1,5 mio. Euro. Så det afventer også Energistyrelsens tilsagn om en værkpuljeansøgning, som vil komme meget snart. Det er et projekt, som laves i samarbejde med et fransk teknologisk serviceinstitut, som hedder CIRAD, et fransk universitet, et græsk universitet og DK-teknik og så Gjøll. Det består af en trinopdelt forgasser, som er her:



Figur 16

Den består af en pyrolysebed, en brændkammer og en forgasningszone. Derudover består den af indfødningsudstyr, af gasbehandlingsudstyr, og af en motor. Det vi vil koncentrere os mest om nu, det er forgasseren, som har voldt problemer. Indfødningsudstyret har vi selv bygget os frem til, og med forgasseren har det fungeret ganske upåklageligt. Mht. gasrensingsudstyret har vi gjort os den ulejlighed at læse de rapporter, som Ulrik har skrevet, og så har vi på baggrund af det, tænkt os om, så godt vi kunne og bygget det. Og det har virket helt upåklageligt. Jeg må ærlig indrømme, at jeg er lidt imponeret af, at det kunne lade sig gøre så nemt på baggrund af den viden, som Ulrik er kommet med. Jeg skal vise nogle billeder om lidt.

Den forgasser vi har kørt med, den ser sådan der ud. (se ovenstående billede)

En firkantet konstruktion. 50x50 cm, med nogle vipperiste i, som vi skal se, hvordan ser ud, på nogle billeder om lidt. Flisen kommer ind i toppen. Vi har en niveaumåler der består af en plade på en cylinder, der går ned og stiller sig ovenpå flisen. Hvis den går for langt ned, fylder vi flis ind, hvis den ikke går får langt ned lader vi være med at fylde flis ind. Selve pyrolysereaktoren er en stålkappe, som er udmuret først med moler, så med en insulensstøbemasse, meluniastøbemasse, og så med en hård sten inderst inde:

**Figur 17**

Det er en flisekonstruktion, som er bygget op af fliser på 25x25 cm, og de her brændesten har vi selv støbt ind, så de passer i flisekonstruktionen.

Vipperisten har vi også selv støbt:

**Figur 18**

Den deroppe har virket ganske upåklageligt. Den anden har drillet lidt, som vi skal se om lidt. Askesneglen har en bundsnegl, det er en tragt.

(Referat af ca. 10 minutters foredrag mangler pga. tekniske problemer)

..... På ca. 250 liter. Og vi regner med, efter vores målinger, at den har en kapacitet på en 2-3-4 MW. Det er lidt svært at vurdere på nuværende tidspunkt. Afhængigt af, hvordan vi kan få ild i det, og hvordan vi kan styre flammefronten. Vi regner med at gå ned og sætte ild i løbet af en 14 dage til en måned og se, hvor meget flis vi kan drøne igennem den. Den er kommet lidt længere siden dette billede er blevet taget. Så vil jeg gerne sammen med gassen, bevæge mig ned langs gasrøret.

Det første vi møder er en cyklon. Vi har brugt en multicyklon, som DK-teknik har tegnet til os. En relativ simpel cyklon med fire cykloner. Den har vi virket helt upåklageligt. Og så kører vi videre ned i en varmeveksler. Som I måske husker for to år siden, havde vi jo opfundet et dødssmart tjærekonensationssystem, hvor vi ville kondensere tjære i den ene varmeveksler, og så ville vi vende retning og side og sende den tilbage. Og ideen var, at vi ville kondensere tjære på de rør. Vi ville have køleluft ind i de rør, vi ville tage den beskidte gas her:



Figur 19

Vi ville tage den varme luft, som vi skulle forvarme til forgasseren herude, og så skulle tjæren sætte sig på det rør og på indersiden af det rør. Og når vi så vendte det, så skulle luften brænde det af og tage det med ind i forgasseren. Nu var der jo det problem med vores forgasser, at den aldrig rigtig havde produceret noget tjære. Men det

laboratorieforsøg, der er lavet i forbindelse med det EU-projekt, som skulle verificere det, siger at sådan et system har en tjærensningsevne i de niveauer på ca. 16%, så vi må nok konstatere, at det er ikke helt så smart til en forgasser, der producerer 25 mg tjære, som jeg havde troet. Men det er også overflødigt, så det gør ikke noget. Vi har nu brugt den som gaskøler. Den virker ganske fortræffelig, og vi har fået en masse designdata til, hvordan et sådant dyr skal se ud.

Vi kravler nu videre ned i systemet, og der kigger vi op i systemet, og der kigger vi op i vores posefilter. Det er vores kolde posefilter. Der er en rustfri stålkasse, og der hænger en række poser her – nylon. Så vidt jeg husker koster de 140 kr. stykket.



Figur 20

Det opererer ved ca. 100 °C og har fungeret ganske upåklageligt undtagen den dag, hvor der gik en hydraulikcylinder og gav sig til at pumpe 60 liter olie ind i vores gassystem efter tjærekrakningen. Og det pyrolyserede. Den kan ikke klare at pyrolyseret hydraulikolie.

Jeg kom ned en dag og skulle kigge til forgasningen, da vi kørte langtidsforsøg, og dem der kørte med den, var helt oppe og køre, for den havde kørt med en 15 –20 kW mere end den plejede i 8 timer. Og det var altså fordi, der var en lille læk i hydraulikpakningen og den pumpede 5-7 liter hydraulikolie ind i timen, som motoren kørte hjertens fortræffeligt på. Det kan den ikke klare.

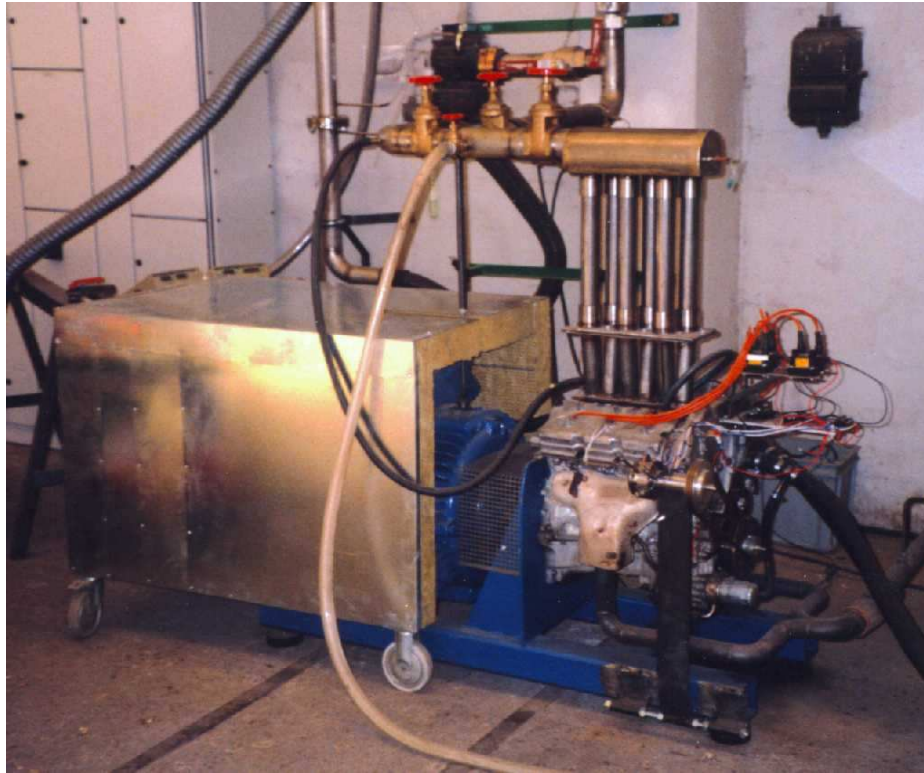
Når nu gassen har været igennem her, så kører vi videre igennem et politifilter, som er et ganske alm. luftfilter, fra en entreprenørmaskine:

**Figur 21****Figur 22**

I kan se, at gassen kommer ned gennem her. Og kører ind der. Og derinde i den kasse sidder politifilteret og den rene gas kører ud her og kører til vores karburatorkonstruktion. (Billedet til højre) Det er det skidt der er tilbage efter ca. 150 timers drift. Det sidder der.

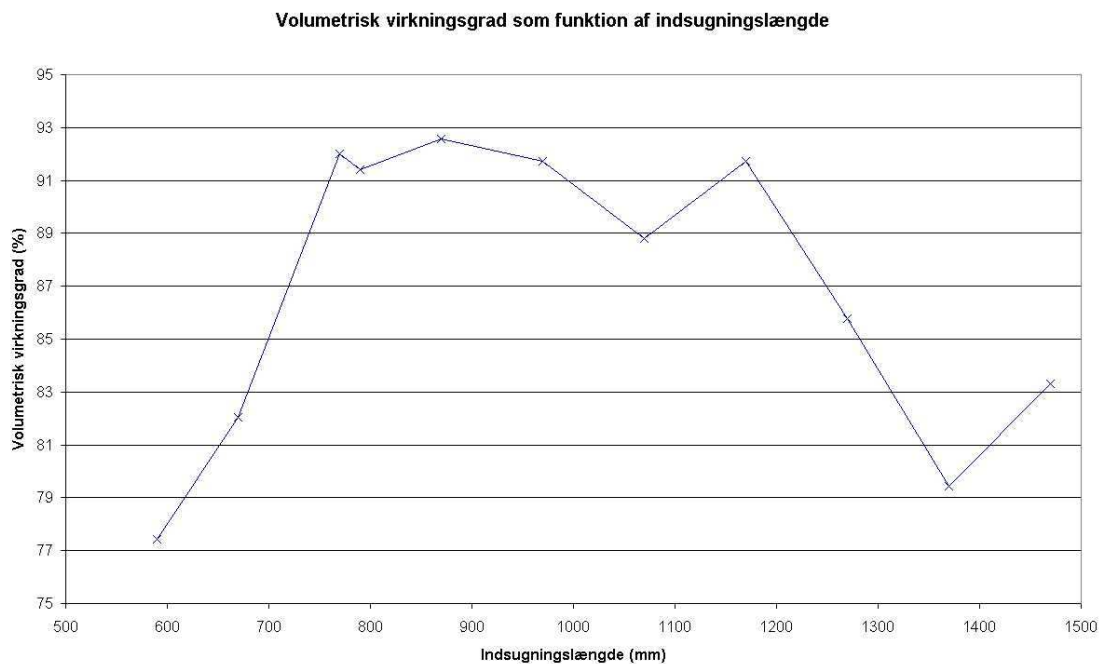
Det er det der kommer igennem og bliver siddende på et papirfilter, efter vi har kølet og filtreret gassen i posefiltret. Og der har ikke været noget at se i karburatorsystemet og gasventiler. Der har simpelthen ikke siddet noget, der har kunnet drille overhovedet. Det er relativt rent – mest fedtfingre sådan.

Vores motoranlæg, det ser sådan her ud:

**Figur 23**

Nu har vi jo set mange mærkelige motorer rundt omkring, som kan køre på meget forskelligt. Og vi tænkte, at vi vil egentlig gerne se problemer i stedet for succeser, for der var ingen grund til at kunne vise, at en eller anden gammel traktormotor kunne køre på det. Så valgte vi sådan en 24 ventilers Nissan-motor fra Nissan Maxima. Med sådan nogle små ventiler, og tænkte: ”den går sgu nok i stykker”. Og vi havde en fornemmelse af, at den ikke bare sådan lige stoppede. Så vi byggede sådan en 3-liters 6-cylinderet 24-ventilers Nissan motor om til forgasningsgas. Vi havde lidt bøvl med at finde ud af at få et tændingssystem på den. Det er jo integreret i en sådan dyr en med computer. Og vi har gassen ned her. Vi har vores blandelegeme her, og så har vi den her fine karburator.

Der sker det, at når man kommer forgasningsgas i en motor, så derater den jo, fordi der er mindre brændværdi i gas-luftblandingen. Så vi kunne godt tænke os at lave en statisk trykleder. Sæmpelethen en resonansrør. Men vi havde lidt besvær med at finde ud af, hvordan man egentlig dimensionerer sådan en. Af vores datagrundlag, og de folk vi kunne finde, der havde lavet matematiske modeller, der kunne vi finde alt fra ca. 60 cm – 1,60 m. så igen lavede vi en model. Som I kan se, så stikker de ned der, så vi lavede en lang model, og så tog vi en nedstryger og begyndte at skære af, indtil vi fik den rette fylding. Som I kan se her på grafen så har vi en volumetrisk virkningsgrad, som funktion af indsugningsrørens længde.

**Figur 24**

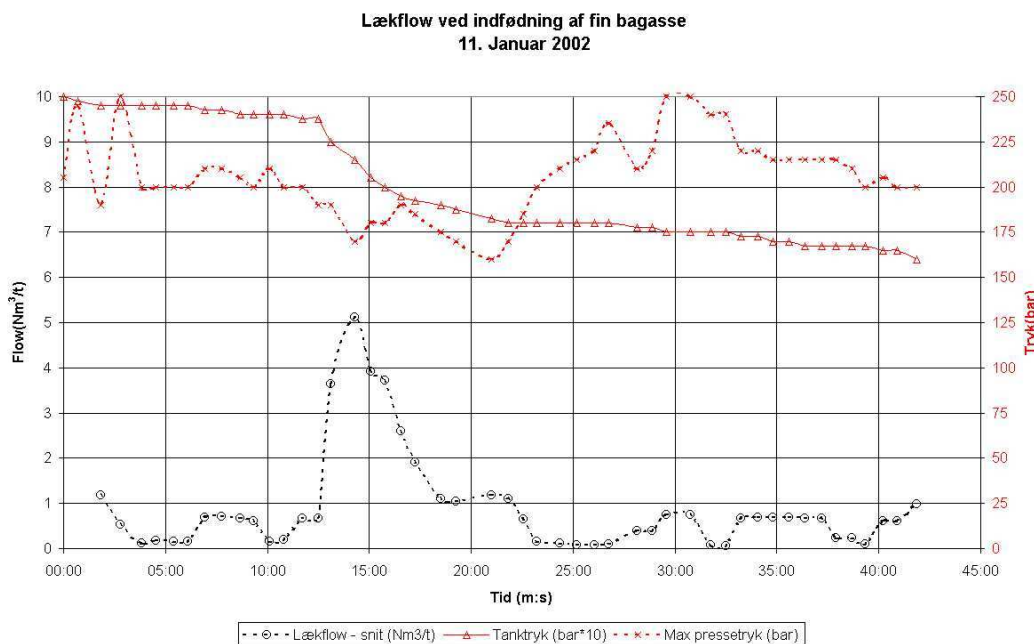
Og der kan I se, at det er punkter, som vi kunne måle med en tommestok. Som I kan se der, hvis vi kommer ned og har indsugningsmanifolden lige ovenpå, som man normalt gør, så har man en volumetrisk virkningsgrad på 70 %. Hvis man hæver det 800-1000 mm, så får man en volumetrisk virkningsgrad på 92%. Dvs. man får 25% mindre de-rating, ved at sætte sådan en 6 stk. vandrør i klemme. Derudover får man også 1% højere virkningsgrad. Så det er da ret god tilbagebetalingstid på at gøre det.

En anden aktivitet vi har, som jeg vil se tilbage på mht. ubådsstrategien. Der er jo to måder at klare sig på når der er bølger på havet. Der er en flyver og en ubåd. Vi har en strategi, der måske viser sig at kunne flyve. Der er faktisk heller ikke bølger, når man kommer lidt op. Det her er en indføder til tryksat anlæg:

**Figur 25**

Jeg skal med skam melde, at vi har haft mest interesse for den til kul. På trods. Den er nu også lavet for helt egen regning og risiko. Det er en propindføder, hvor vi laver en tætningsprop her. Og vi har sådan en stempelsekvenser, der kører ind. Nu skal I se, hvordan sådan en ser ud. Det her er en indføder, som er lavet til 100 kg i timen. Har født kontinuert mod 42 bar, men vi har mest kørt forsøg mod 25 bar. Det er en et-trinsindføder. Det, der er det smarte ved den, er, at vi har fået designet den sådan, at proppen ikke blæser bagud, når vi hiver stemplet tilbage. Det består af en hydraulikcylinder. En indfødningsstykke. En mekanisme, som holder fast i proppen, når vi fjerner stemplet og fylder nyt materiale, og en mekanisme her, som styrer densiteten i proppen. Og så en tryktank vi kan køre ind i med gas og manometre. Og det er så reguleringssystemet til den her propreguleringsmekanisme. Vi har følgende data. Vi har lavet det både til kul og bagasse. Vi kan sige, at projektet er lavet til en 30 bars forgasser, som skal producere 100 kg metanol i timen, på et forsøgsanlæg i Frankrig, og vi har så entreprisen på at lave indfødnings og forbehandlingsudstyret, og den termiske gasrensning regner vi også med at skulle lave til dette projekt. Det er planen for vores kunde, at de vil opskalere den til 1 mio. tons om året anlæg, som så skal producere metanol.

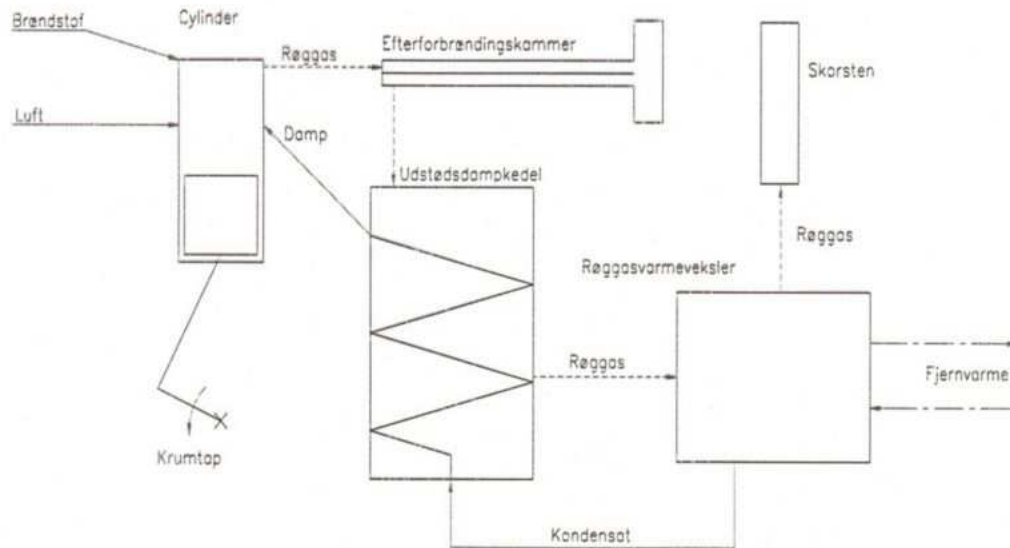
Det vi har her (se figur 26), det er at vi har taget vores tank, som I så før. Vi har pumpet den op til 25 bar og lukket den. Og så for hvert punkt her, føder vi så 150 gram ind. Det foregår med håndfødnings. Og så kan I se trykket, hvordan fremtrykket udvikler sig over tid. Det er 45 min. hertil. Og der kan I se hydrauliktrykket i indfødnings. Det varierer så lidt. Vi har ikke helt styr på reguleringen endnu. Og I kan se vores hernede i m^3/time .



Figur 26

Dvs. vi ligger sådan nogenlunde stabilt på et lækflow på omkring $1\frac{1}{2} \text{ Nm}^3/\text{timen}$, når vi føder ind mod 20 bar i snit ca. Så dvs., at det er helt negligerbart. Det er så med bagasse det der. Så det er altså nogle få watt, der går tabt i det lækflow.

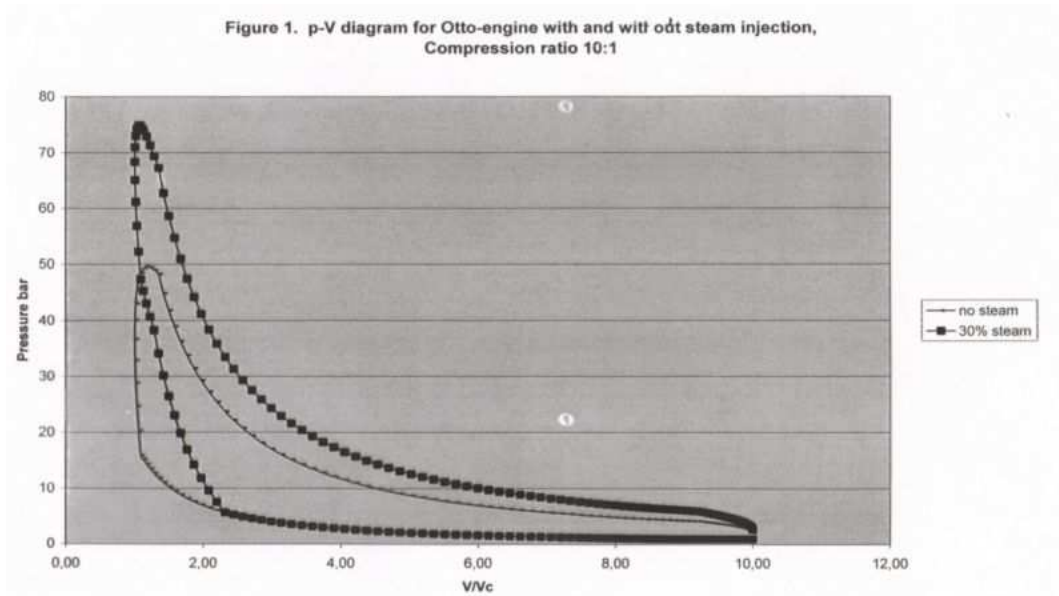
Til sidst, kunne jeg godt tænke mig at vise noget andet, for vi laver faktisk også engang i mellem en model, hvor vi regner. Vi har et projekt, som er lidt ude i fremtiden. Og som vi håber kunne være med til at forbedre økonomien ganske alvorligt på forgasningsanlæg. Procesdiagrammet ser således ud:



Figur 27

Vi har ganske alm. motor, hvor vi kan sprøjte noget damp ind, og vi har et efterforbrændingskammer her, hvor vi kan reducere vores UHC og CO, fra de der 500 ppm UHC til 5 ppm UHC og ned til måske 50-100 ppm CO.

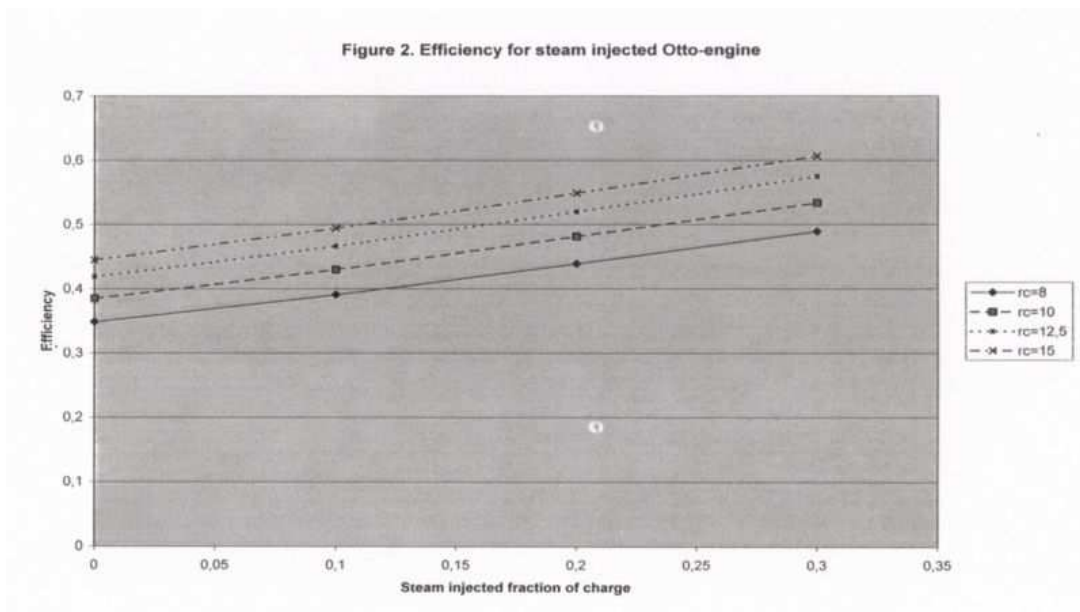
Motoren er en almindelig ottomotor med en ventil til indsprøjtning af damp, som vi har produceret vha. vores røggas. Dvs, det er en kombineret gas-damp-motor. Vi har prøvet at regne et pv-diagram ud for sådan en fyr. Hvis vi tager en motor med et kompressionsforhold 1:10, kører den med gas, så har vi den tynde. pv-diagrammet ser sådan ud:



Figur 28

Og vi får en virkningsgrad på 38%. Hvis vi 20° før topdødpunktet tilsætter 30% af massen som varm damp ved 50 bar og 400°C , så får vi et pv-diagram, der ser sådan ud.

Derudover får vi forøget vores bankestabilitet ganske væsentligt:



Figur 29

Hvis vi nu tager en almindelig motorkompressionsforhold på 1:10, kører den som almindelig gasmotor, så har vi en virkningsgrad på 38%. Da vi forventer en ganske forøget bankestabilitet, og vi kan producere det damp, så kan vi køre med et kompressionsforhold på 1:15, og producere ca. 30% af vores input masse som damp, og

dvs, at vi forventer at kunne opnå en virkningsgrad på 61% eller forbedre el-virkningsgraden ca. 60%. Men jeg vil sige, det er ikke helt på proces-development-stadiet endnu. Og der kan jo gå meget galt, inden det virker. Men det er den teori, vi kan regne ud sammen med vores svenske samarbejdspartner på det her projekt.

Så vil jeg ikke sige mere.

Holdt jeg tiden?

Ulrik Henriksen: Jeg var slet ikke klar til at sige tak, for jeg troede slet ikke du var færdig så hurtig.

Thomas Koch: Du var faldet i søvn!

Spørgsmål:

Jens Dall Bentzen, COWI: Jeg har flere spørgsmål, men begrænser det til et, kan jeg høre på Ulrik. Det er omkring din pyrolyseenhed. Det ser utrolig interessant ud. Det er noget vi har snakket meget om, om man skulle prøve sådan noget engang med at lade koksen gå opad. Det vi så har snakket om, det er jo om flisen under pyrolyseringen i sådan et rør, der går opad, bliver knust. Så det vil jeg opfordre til lige at holde øje med. Så det er jeg meget spændt på.

Thomas Koch: Det er afhængigt af, hvordan du laver din transportmekanisme. Du kan sagtens knuse dem, og du kan sagtens lade være med at knuse dem.

Ulrik Henriksen: Hvad var det lige spørgsmålet var? Var det en kommentar?

Andre spørgsmål?... Tak til Thomas.

Ulrik Henriksen: Det er Peder Stoholm fra firmaet DFBT, der vil tale om LTCFB. Nu er der det med Peder, at han er så glad for forkortelser, så det er fra Danish Fluid Bed Technology, og LTCFB betyder lav temperatur cirkulerende fluid bed. Peder:

DFBT om LTCFB

ved Peder Stoholm, DFBT

Jamen Ulrik er allerede begyndt på det her. Jeg har ikke benyttet mig af forkortelsen. Og jeg vil sige DFBT er jo et meget lille firma, jeg repræsenterer det stort set, alle er næsten tilstede her. Til gengæld har jeg nogle rigtig gode partnere. Rica-Tec Engineering er nok den mindst kendte i denne kreds. Leverer beslægtet procesudstyr til store dele af verden. Og mon ikke jeg skal nøjes med at nævne, at DTU er jo så konstruktiv at lægge hus og meget mere, til det jeg har gang i her. Og så er jeg også glad for en hel masse andre bidrag fra nogle jeg nævner her.

DANISH FLUID BED TECHNOLOGY

Indlæg på DTU, MEK's "Teknikdag" vedr. Biomasseforøgning d. 14/3-2002.

LavTemperatur Cirkulerende Fluid Bed Forgasser

Peder Stoholm, DFB T

Credits to PhD in Bio and Technology: 2yrs
 1yrs 4 semesters in Bio grad, one year in grad in C&T, 2yrs in
 C&T-4 semesters in Bio grad, 2yrs in C&T
 Planner: 4yrs 8 semesters Bio, 2yrs 4 semesters C&T
 2yrs 4 semesters Bio, 2yrs 4 semesters C&T

Projekt partnere :



Electrical Engineering 1-8
480-444-4444
480-444-4444
Phone: 480-444-4444
Fax: 480-444-4444

New Year Engineering Ltd
428 Leinster Rd
Drogheda Co. Dub.
Phone: 4240-4241 Fax: 4240-4242
E-mail: enr@newyear.co.uk

[illegible]

Exporters must notify energy regulators and agencies of the
Tribal and Indian Energy and Development Act of 1974
DO-1000, Energy, Domestic
Phone: 404-404-1234 Fax: 404-404-1234
E-mail: info@do-1000.com

Med værdifulde bidrag fra bl.a.:

DTU-studerende : R.G. Nielsen, L. Sarbæk, L. Tobiasen, H. Nygaard
Forskningscenter Rissø, COWI, ReaTech, Knut Consult,
Aalborg Universitet Esbjerg, CHEC DTU, Energi E2



Og støtte fra :

Eltra, PSO-2001
Energistyrelsen, EFP-2000
Energistyrelsen, CO2-1998

Figur 30

Jeg skal ikke stå og pege ud, men der er mange andre, der har givet os et skub, hver gang der var brug for det. Og ikke mindst har vi haft stor fornøjelse af en lille skare af studerende, som på skift har trukket hårdt på hamlen i forhold til den her forgasser. Og jeg ved, at vi har to tilstede. Så skal jeg huske, ellers glemmer jeg det bare til sidst, at

det jeg taler om her, det har en oprindelse i et projekt, som vi fik, da der var noget der hed CO₂-støtteordningen. Der byggede vi faktisk en lille 50 kW forgasser, indenfor en tre måneders tid. Og så har vi været igennem et meget lærerigt EFP-2000-projekt, hvor hovedparten af aktiviteterne lå omkring årsskiftet sidste år. Lige nu er den helt store drivende kraft en rygvind fra Eltra PSO-2001. Behøver jeg sige, at det er vi også glade for.

Disposition

- Baggrund
- Vanskelige bio-brændsler
- LT-CFB -konceptet
- 50 kW LT-CFB anlægget på DTU, MEK
- Forsøgsresultater
- LT-CFB applikationer
- Videregående aktiviteter
- Konklusion

Jeg vil lige sige kort noget omkring baggrunden af vanskelige biomasser en vigtig ting. Så vil jeg lige forsøge kort at forklare, hvordan LTCFB-konceptet ser ud. Og give jer et lille indtryk af anlægget, som forhåbentlig nogle af jer får tid til at se på Halmfortet bagefter. Nævne noget om forsøgsresultater, og om hvad jeg forestiller mig en sådan LTCFB-forgasser kan bruges til. Så vil jeg kigge lidt videre frem i det vi har, af mere eller mindre bevilgede planer eller finansierede planer. Baggrunden, den vil jeg ikke plage jer mere med, det er mere, hvis det her skulle komme uden for den her kreds som selvstændig papir.

Baggrund

Overordnet :

- Behov for øget forsyningsikkerhed, ressourcebesparelser og mindske CO₂-emission
- CO₂ mål er stadig gældende
- Ønske om udvikling af nye teknologi for eksport

Biomasse og affald :

- Biomassehandlingsplanen er stadig gældende
- Væsentligt potentiale og regulerbar
- De uudnyttede danske ressourcer er primært halm og andre vanskelige landbrugsafledte brændsler
- Mulighed for import af biomasse
- Mulighed for dyrkning af energiafgrøder
- Effektiv anvendelse af husholdnings- og industriaffald

Men de sidste 25 års energipolitik står vel i det øverste linjer. Forsyningssikkerhed, ressourcebesparelse og mindske CO₂-emission – som overskrifter. Og det som måske er nok så interessant, det er, at så er CO₂-målene stadig gældende i den stramme version. Og så skal jeg også nævne, at i forhold til VE-teknologier, som jeg tænker på heroppe i den øvre, der er det generelt et slet skjult ønske alt sammen, at vores indsats gerne må resultere i noget eksport. Så vi kan få noget af investeringen tilbage igen nationaløkonomisk set.

Hvis vi så går ned og ser specielt på (vi glemmer vindmøller) hardcore delen under biomasse, og affald delen har jeg også taget noget med. Der er en ting, som er mere interessant lige for tiden, og det er at biomassehandlingsplanen, den ser også ud til at gælde. Og der bliver ikke rystet på hovedet. Biomasse er spændende, fordi det har væsentlige potentialer og er regulerbar. Og så skal man hæfte sig ved, at de uudnyttede danske ressourcer er primært halm og andre landbrugsafledte brændsler. Vi kan ikke klare hele vores energiforsyning på den måde, men så er der også kraftig gang i det, ja det er allerede en realitet, at importere biomasse. Man snakker om at dyrke energiafgrøder. Og det har i mange år været på dagsordenen at prøve at få en højere el-virkningsgrad på affaldsanlæggene. Udnytte affaldet bedre til energiproduktion. Nu tror jeg snart, at jeg er ved at være væk fra de alt for overordnede ting her. Bortset fra lige nogle eksempler på nogle vanskelige brændsler:

Vanskelige brændsler

Eksempler :

- Ungt træ / Energiskov
- Andre energiafgrøder
- Halm
- Frøafharp
- Roeaffald
- Bommuldsaffald
- Olivenkærner
- Husholdningsaffald
- Kød- og benmel
- Husdyrgødning

Træ er ikke altid lige let. Ungt træ, stormfældet træ skulle jeg måske også nævne. Energiskov det vil være ung træ med forhøjet indhold af kalium og klor sådan generelt set. Så kommer halm. Det er det vi nørkler med lige nu. Og sådan noget som frøafharp, hvis man kigger på analysen, det er jo endnu værre end halm. Det kan det i hvert fald være. Roeaffald har jeg en konkret grund til at have med her. Og hvis vi går ud af landet: bomuldsaffald, olivenkærner, sådan noget som rishalm er også et godt eksempel. Det ligner faktisk noget af det, vi kører forsøg med, når det er slemt. Det er noget med kalium, klor og silicium i uheldige blandinger.

Husholdningsaffald har jeg nævnt. Kød og benmel er et emne med stort behov for at gøre noget ved. Husdyrgødning det fylder også en hel masse, hvis man kigger på hvad

biomasseressourcerne er, Så det kan godt være man skal være klar til at se på om man kan gøre noget ved det også.

Målsætningen, og der tænker jeg på LTCFB-forgasseren, er, som man næsten kan gætte på det her sted, anvendelse af vanskelige biomasser. Især vanskelige.

Målsætning (primært)

- Anvendelse af vanskelig biomasse,
- Simpelt og kompakt forgasser design
- Simpel gasrensning

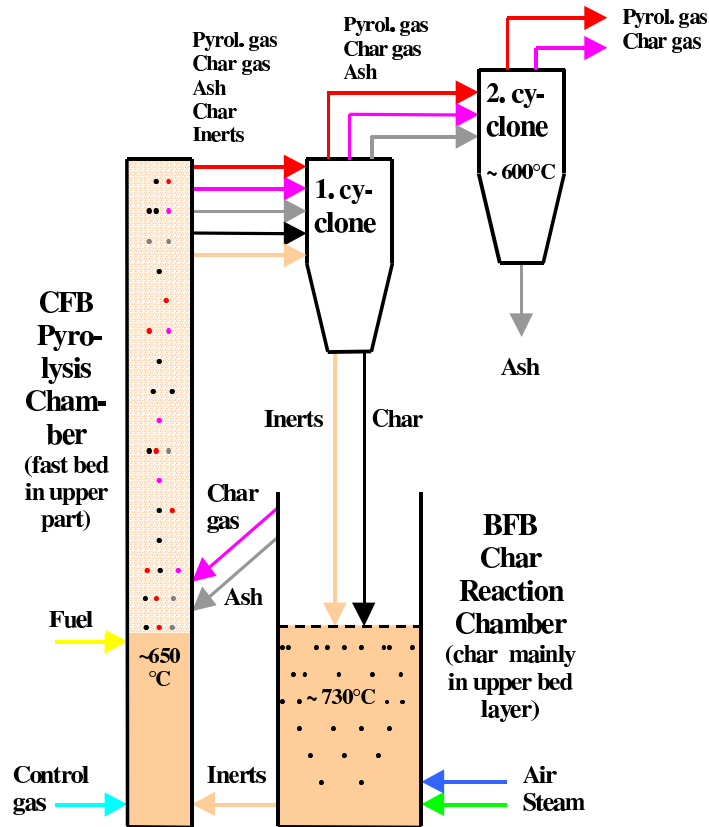
Idégrundlag

- Hurtig pyrolyse giver lille og reaktiv koksrest,
- Lav pyrolysetemperatur giver høj koksreaktivitet,
- Koksforgasningen kan "tunes" v.h.a. kaliumforbindelser,
- Pyrolysen efterlader solide og separerbare kokspartikler,
- Koks reagerer effektivt med ilt ved lav temperatur,
- Den fine og lette koks segregerer opad en fluid beds,
- Koks nedbrydes let til fint støv, der let medrives og tabes,
- Pyrolysegas og især tjærestoffer har høj vol.specifik brændværdi,
- Askesmeltning kan undgås ved begrænsning af procestemperaturen,
- Mulighed for lave og velkontrollerede temperaturer i fluid beds,
- Koks modvirker agglomerering,
- Tjærestoffer er gasformige og nogenlunde stabile ved omkring 500°C,
- Den endotherme pyrolyse (inkl. reaktionsprodukternes varmeoptagelse) kan erstatte problematisk gaskøling
- K og Cl kan tilbageholdes/genindbindes i fast form under 600-700°C,
- Partikulært bundet K og Cl kan separeres sammen med asken.

Simpel og kompakt forgasserdesign. Det dur jo ikke at lave noget, som ingen vil købe. Og for at det stik også skal gå helt igennem, så er det jo ikke nok at forgasseren er simpelt, det skal gasrensningssystemet også være. Helheden skal være konkurrencedygtig. Og så kommer der en hel masse pinde der som ligner noget, jeg har talt om sidste gang, jeg blev inviteret til at stå her. Så det vil jeg ikke stå og læse op.

Men det er sådan en helt masse tankespindsmæssige erkendelsesingredienser, som LTCFB-forgasseren er bygget op på. Meget af det, er leveret herude fra, og det gælder både Halmfortet og fra Chec, altså erkendelser om f.eks. hvad sker der med kalium og klor afhængig af temperatur osv. Og som sagt, det vil jeg bede jer om lige selv at kigge igennem, hvis I har interesse i det, og så gå videre til at fortælle om, hvordan den ser ud. Der har jeg også en chance for at komme ind på lidt af det alligevel. I skal ikke tage jer af, at der står en hel masse med småt hernede, det er sådan at I bagefter kan se om jeg mente det jeg sagde.

LT-CFB koncept



- Brændslet tilføres og pyrolyseres hurtigt i cirkulerende fluid bed (CFB) kammer t.v..
- Den forholdsvis beskedne koksret separeres af primærcyklonen og tilføres en langsomt fluidiseret boblende fluid bed (BFB) koksfor gasningsreaktor.
- Cirkulerende inert-partikler bærer energi fra den exoterme koksfor gasning til den endoterme pyrolyse.
- De cirkulerende partikler tages nenedud af koksreaktoren, hvorved koksen p.g.a. segregering opnår stor opholdstid.
- Koksgassen passerer CFB-kammeret som bæregas og for indbinding af gasformige K- og Cl-forbindelser og hvorved en separat gasafgang udgås,
- Temperaturen i koksreaktoren reguleres ved ændret lufttilførsel
- Temperaturen i pyrolysekammeret reguleres ved ændret partikelcirkulation, som bestemmes af bed massen og strømmen af kontrolgas.

6

Figur 31

Det er en to-kammer proces. Vi har et pyrolysekammer til venstre. Den har facon ligesom en hurtig cirkulerende fluid-bed. Og så har vi en langsom fluidiseret boble-bed, til højre. Der kører partiklerne rundt i et kredsløb i den primær cyklon de indgår i, som en del af reaktoren. Det er ikke en rensningsenhed, det er en del af reaktoren. Her kører partikelkredsløbet rundt. Pilene jeg har tegnet ind, er for at illustrere de tilsigtede

massestrømme. I virkeligheden er der flere pile end de tilsigtede. Der kører f.eks. noget koks over den ene cyklon. For at illustrere ideen i konceptet har jeg nøjes med at tegne dem jeg har med her. Som sagt, inert partikler kører rundt i det her kredsløb, som heatcarrier.

Fordi der hvor vi tilsætter pyrolysen, der har vi, hvis vi regner opvarmningen af reaktionsprodukterne med, en endoterm proces. Halmfortet plejer at sige ca. 5% af brændværdien. Herovre har vi noget jeg kalder forgasning, men det er mindst lige så meget oxidation. Men jeg kalder det alligevel ud fra et faktisk synspunkt en forgasningsproces, for den kører under-støkiometrisk. Det betyder bl.a., at vi kan styre temperaturen med luftmængden. Det er faktisk temmelig praktisk, og så er der også lidt brændværdi i den gas, som kommer ud af det. Det er ikke særlig meget. Den gas der kommer ud af at forgasse koksen, jeg glemmer at sige at koksen bliver selvfølgelig dannet i den hurtige pyrolyse herovre, og der bliver ikke dannet ret meget, fordi det er en hurtig pyrolyse, der får man mindre koks. Det var en af de ting, som stod på listen før, som jeg ikke læste op.

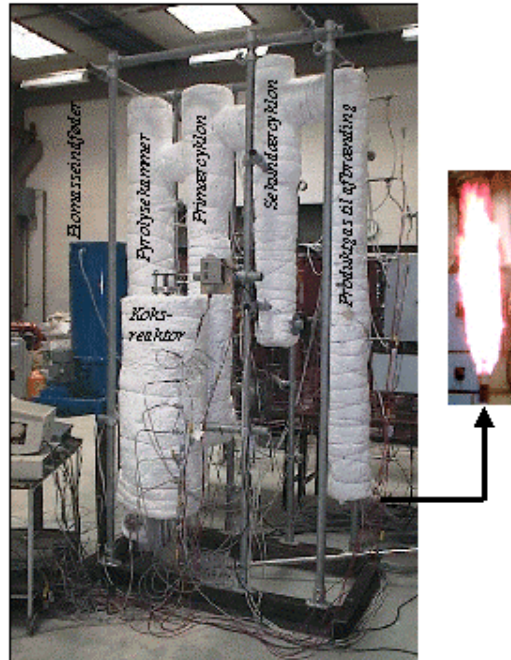
Den primær pyrolyserede koks set i en mikroskop, er stadig en rimelig solid partikel, som en cyklon har en god chance for at tage. Det er først når oxidationen nede i koksreaktoren begynder at gnave partiklen fra hinanden, at man risikerer at få en hel masse fines, som er svære at tilbageholde. Og for at tage højde for det, så er det en vigtig ting i konceptet, at forsøge at holde koksen tilbage i det her kammer. Den koks skal ikke ligge og køre rundt her. For hvis den kommer forbi den cyklon for mange gange, så bliver den tabt. Et af de vigtige trick, det er at sige, at partiklerne skal nenedud. Det er en forskel, hvis der er nogen af jer, der kender andre to-kammer processer, der ligner den her. De andre smider partiklerne, der cirkulerer ovenud. Jeg tager dem nenedud. Jeg benytter mig af, at koksen har det med at segregere især den fine koks, har det med at segregere opad i den her bed. Så de partikler, der kommer nenedud, det er primær sand og de grove kokspartikler. Og de grove kokspartikler, er jeg ikke bange for at sende forbi cyklonen. Fordi de kommer bare tilbage igen.

Det der det er så gasrensningenheden. Her skal man lægge mærke til, at vi har ikke nogen køler foran den. Ligesom man ville have i en normal forkoblet forgasser, for at få temperaturen ned, hvor kalium og klor optræder på fast form. Altså begyndende omkring 700 °C, når vi går nedad. Den kølefunktion, den ligger pyrolyseprocessen og tager sig af, så at sige. Det er ikke kun pyrolysegasserne der kommer ud, med en temperatur på omkring 600 °C, det er også gasserne fra koksreaktoren, som kører noget varmere. Og jeg har skrevet 730 °C, set i lyset af de seneste erkendelser, sidst havde jeg skrevet 700 °C. Skulle der så være noget kalium og klor på gasform, så har den kalium og klor, for det første et temperaturdyk, når den kommer ind pyrolysekammeret, og for det andet illustreret ved alle de partikler, som er oppe at svæve på figuren, rig lejlighed for at sætte sig, binde sig kemisk eller fysisk på den der sky af partikler der står her. Og det hele det kommer ud ved en temperatur hvor kalium og klor – især kalium har en ganske stor risiko, positiv risiko, for at komme ud sammen med asken. Og dvs. at hvis vi har nogle anvendelser, som ikke er kræse overfor det høje tjæreindhold, der er i den her gas, så har vi en snydesimpel proces, altså inklusiv gasrensning. Der står en model af det nede på Halmfortet, så de af jer der kommer derned, kan se den i kold virkelighed.

Så de der løse ideer, de blev lige forelagt for nogle ihærdige studerende tilbage i starten af 99, og kort tid efter, også grundet nogle mindst ligeså ihærdige smede, havde vi lige sådan et anlæg her. Jeg har snydt lidt her, for det her var anlægget, da det lige var bygget, sådan et fint et, og det har vi brugt til at sætte forklarende tekst på. Ud fra den tekst vil i kunne genfinde det jeg sagde lige før.

Det her det er brændselsindfødningsbeholderen, det er pyrolysekammeret, det var den høje slanke vi havde til venstre lige før. Koksreaktoren og primær cyclonen. Partikler inert og kokspartikler tilbage til koksreaktoren kommer ind omme på bagsiden. Sekundær cyclonen. Det her det er fra før vi fik sat en askebeholder på. Der er en gasafgang med heattracer ligesom resten af anlægget har

50 kW LT-CFB på DTU, MEK



Figur 32

heattracer, så har vi heattracer herved til og det har vi gjort for ligesom at kunne se, hvad der bliver af afsætninger, når temperaturen ikke holdes. Og især i det sidste stykke hvor der ikke er nogen heattracing, kunne det rør finde på at stoppe.

Det var der nogen der mente. Og sådan i nogenlunde rigtig skala, der har jeg taget sådan en flamme, jeg mener det er fra det allerseneste, og klistret ind her ved siden af. Ja vi laver gas som vi simpelthen bare brænder af. Og her kan man se, hvad der er lavet af forsøg igennem tiderne på det anlæg:

Gennemførte 50 kW forsøg

På halm med højt K- og Cl indhold bortset fra anførte 3 timer på træ :

<u>C O₂, sommeren 1999</u>	Drifts- timer
• Første opstart	2
• 2 fejlslag	2
• Ca. 16 x ca. 0.5 time (agglomerering i driftspause efter temperaturstigning til 765 °C)	8
 <u>EFP-2000, vinteren 2000-2001</u>	
• 12 x 0.5 - 3 timer (med parametervariationer og inkl. 3 timer på træ samt forsøg med gasforbrænding i kalorimetrisk brændkammer)	24
 <u>PSO-2001, maj 2001 og primo 2002</u>	
• 6 x 4 timer (ca. 45 % koks i cyklonasken, agglomerering under drift efter temperaturstigning til 825 °C)	25
• 3 x 4 timer (ca. 40 % koks i cyklonasken, temperaturstigning til 800 °C i 30 min. uden agglomerering)	13.5
• 1.5 + 3 x 2 timer (25-30 % koks i cyklonasken ved ca. 45 kW, ingensandtilsætning, dk-T støv & Kprobe)	<u>7.5</u>
I alt ca.	82

Lige før sommerferien 99 der prøvede vi at starte for første gang, og der kørte den og det har jeg fortalt om en gang. Den kørte helt stabilt. Vi tog nogle billeder af hinanden. Men så hovmod står for fald, så var vi lige i bolværket et par gange, og der havde vi selvfølgelig inviteret gæster, den ene af gange i hvert fald. Men så får vi lige styr på tingene igen her og kører 8 timer, fordi det er i sidste øjeblik i forhold til at fastholde sponsoreres interesse osv. Og vi kører 8 timer, og det går fint. I praksis på det tidspunkt, har vi ikke nogen askeudslusningsløsning på, så det er derfor vi kører i 16* ½ time. Og der er vi gode til at starte og stoppe anlægget.

Så kommer vi til EFP2000 projektet, hvor vi lige har sendt slutrapporten i trykken. Hovedaktiviteterne de foregik koordineret med et eksamensprojekt omkring årsskiftet sidste år. Og der kører vi 12 forsøg af en varighed mellem 0,5-3 timer og vi kører i alt ca. 24 timer. Her skal jeg lige sige, at vi også har et forsøg med træ i det, som står øverst. Alle de andre forsøg er gennemført med halm med meget høj kalium og klor indhold og uden brug af additiver. Og her på det seneste har vi forsøgt, at sætte så lidt sand til som muligt, hvilket også ser ud til at kunne lade sig gøre. Men her har vi altså lige en 3 timers forsøg i træk. Og så slutter vi med, og det er faktisk de studerende der kommer slæbende med en kalorimetrisk brændkammer, som er dukket op uden det store besvær for mig, og det er jo heldigt. Der kører vi 3 timer, hvor det lykkes for første gang at få flammen til at brænde stabilt for første gang i et lukket kammer. Og det er et kalorimetrisk kammer, så vi kunne tjekke at vores energibalancer er nogenlunde rigtig. Og det var spændende. Også fordi, at den gas vi laver her, den er svær at monitorere, fordi hovedparten af brændværdien, metanmåleren viser en hel masse metan, men det er ikke metan ret meget af det, kan vi se når vi sender gassen til analyse på Risø. En meget stor del af det er højere kulbrinter. Og en meget stor del af det, ligger i det område man kalder tjære og på vej derop altså i molekylvægt. Man kan godt se på flammen, at her

er der noget der kan brænde. Det er svært at se på de lette gasmålere, at gassen er særlig god.

Så kommer vi frem til det der er det primære nu.

Resultater

I alt ca. 79 timers forgasning af halm m. 1.8 % K og 0.6 % Cl (d.S.) :

- Ca. 800 kg halm forgasset
- Brændselseffekt = ca. 30 til 65 kW,
- Kun alm. kvartssand som bedmateriale, ingen additiver,
- Kun genbrugt bedmateriale + 2 kg frisk sand seneste 20 timer,
- Ingen agglomering under drift under 825 °C,
- Ingen problematiske belægninger,
- Tilbageholdelse af aske/inert i sek.cykdon = ca. 90 %,
- Steady state kokstab i cyklonaske nedbragt til ca. 3 vægt % af halmstrømmen ved ca. 45 kW,
- K-tilbageholdelse = 86-96 % (ca. 1/3 i bed-matr.),
- Cl- tilbageholdelse = 45 - 95 % (usikkert !).

(Flere analyseresultater fra seneste PSO-2001 forsøg er på vej.)

Ca. 3 timer på træ-piller fra Shell :

- Ingen problemer,
- Lidt bedre koksomsætning end på halm.

Det er PSO-2001 projektet fra Eltra og Energistyrelsen vi også skal nævne i den forbindelse. Og der har vi kørt forsøg i maj 2001 og nu to forsøg tidligt i år.

Det første forsøg var det længste. Det var et 24 timers forsøg. Og så har vi kørt et 12 timers forsøg og det, der ikke er sagt så tydeligt, er, at her havde vi altså mere koks i cyklonasken, end vi kunne lide. Og det var vi så stensikre på, at det vidste vi lige nøjagtig, hvordan vi skulle klare i det næste 12 timers forsøg. Det viste sig, at det nok var rigtig nok, det vi troede, men samtidig med vi forbedrede den, så skete der det, at vi gav den mere luft, vi gav den mere damp, vi gav den lidt højere temperatur, så ser man medaljens bagside, og det er, at det giver større hastigheder i procestværsnittet. De to ting har det med at spise hinanden langt hen af vejen. Dvs. det sidste forsøg, som næsten er dugfrisk, det er kørt d. 8. februar. Der gør vi så det, at vi går den anden vej, og vi gør så det lidt triste, at vi går 10% ned i last og på den måde lykkes det så at få et resultat, jeg synes er fornuftigt. Der har vi også en smart probe skudt ind til måling af støv og kalium, som DK-teknik har lavet til formålet. De resultater har vi dog ikke endnu.

I alt har vi kørt 82 timer. Og der er de 79 timer, det vi har af stik fra dem, det er det der står først. Og så nævner jeg også lige til sidst de der tre timer vi har kørt på træ. Jeg kan tage den nemmeste først på træ - ingen problemer. En anelse bedre koksomsætning end på halm. Og det er faktisk lidt spændende fordi, at en af grundene til at man får en koksomsætning på halm, kunne godt være det høje kaliumindhold, for det er jo kendt for at katalysere reaktioner. Men ikke desto mindre fik vi en lidt bedre omsætning på træ end på halm. Jeg skal være lynhurtig og sige, at vi har forgasset 800 kg halm ca. og kørt i det effektområde. Jeg tror vi ender med at sige, at den kører bedst i det 50 kW område. Og vi har kun brugt almindelig kvartssand som bedmateriale og ingen additiver. Vi har i højere grad genbrugt bedmateriale for at få mange timer på det. F.eks.

har vi kun tilsat 2 kg frisk sand de seneste 20 timer. Vi har ikke set agglomering under drift under 825 °C, dvs. vi har en meget bred driftsmargin at køre den på, eftersom vi kan køre den på plus minus 5 °C, hvis man holder øje med den. Og vi er nede på 730 °C. Der er ingen problematiske belægnings og vi har i sekundærcyklonen en tilbageholdelse groft totalt set på ca. 90% og i det sidste forsøg har vi et kokstab på 3 %masse af halmstrømmen. Kalium tilbageholdelse, har vi set tal indtil nu på omkring 86%-96%. Og klor tilbageholdelse, det er mere spredt det der kommer, men det er altså også kalium der er vigtigt. Så er der flere analyseresultater på vej fra det sidste forsøg, men dem kan jeg af gode grunde ikke fortælle om, fordi vi har dem ikke endnu. Anvendelser må jeg nok lade være med at gå mere ind i end at sige, at der er en masse eksempler og at fokus i øjeblikket, det er selvfølgelig til løbende diskussion. Men som jeg skriver her, det primære sigte i PSO-2001 projektet, det er, at nå frem til et anlæg, man kan bruge til at sammenfyre på kraftværker. Og på det område mener jeg, at vi taler om verdens bedste halmforgasser. Nu har vi klaret det lidt i pausen Henrik og jeg, men ellers vil jeg se om, jeg kan finde den der laser og skyde på ham med. Der er nogle flere løsninger, som ligger under den overskrift, der hedder "en forgasser med simpel dynamisk separation". Og altså uden køling i selve processen. Det er simpelthen bare en sekundær cyklon. Der er forskellige muligheder og så kan man gå videre med noget mere avanceret og der kommer man i konkurrence med lowtar forgasser og der er det knap så iøjnefaldende at den er fordelagtig. Men en mulighed er det dog. Og så er der en spændende, en sjov en til sidst. Den har vi ikke prøvet, den hedder brat køling. Det er tunge olieagtige molekyler meget af det der kommer ud af at lave en hurtig pyrolyse af halm. Der er en hel masse mennesker, der arbejder med at udsætte det for en gasquencher, som man siger for på den måde at producere flydende brændsler og endnu mere værdifulde ting. Resten det må I så lige selv kigge mere på, de af jer der har interesse.

Videre aktiviteter: Lige nu er vi i slutningen med at vurdere de mulige kraftværksanvendelser. Det ligger i PSO-2001 projektet som et hovedpunkt. Vi har et punkt, som hedder detailundersøgelser og modellering. Der ikke lagt det store indhold ind i det endnu. Så har vi i restordre yderligere at køre en 50 kW, idet vi kører på et andet brændsel. Lige nu tyder det på, at det bliver affald, men det er ikke endelig bestemt endnu. Og så er vi godt på vej med et 500 kW anlæg på tegnebordet i hvert fald. Det skal bygges inden jul og meget gerne idriftsættes inden jul. Så ligger der nogle videre planer i PSO-sporet, i hvert fald, hvis jeg skal sige det, og det hedder et forsøgsprogram med 500 kW-anlægget. Og det hedder at finde et godt sted at få lavet 5-10 MW anlæg, som stadigvæk er lille i forhold til 50-100 MW, kunne det første store være. Og nu kan jeg se, han ser truende ud Ulrik. Og der spørger nogle andre ting. Simpel industrianlæg til halm, frøafharp, kød og benmel, roeffald, biolie og jeg håber jeg kan fortælle om noget af det næste gang.

Ulrik Henriksen: tak skal du have Peder, er du næsten færdig nu så?

Peder Stoholm: Der var lige en konklusion, der var vi lige heldige hvad? Vi har gode forsøgsresultater på trods af, at vi kører med worst-case-brændsler. Og worst-case-forsøgsbetingelser. Det er en meget meget lille anlæg i forhold til det, som det skal ende med. Med meget dårlige betingelser for at få en ordentlig opholdstid for vores koks f.eks. Der er masser af anvendelsesmuligheder både nationalt og internationalt, og det udmønter sig så i, at vi har en ny brændselsfleksibel forgasser på

vej både til kraftværks- og industrianvendelser. Og jeg har allerede overstået det der med at sige tak på forsiden, så det er så det.

Ulrik Henriksen: Tak til dig Peder. Er der spørgsmål til Peders fremlæggelse her?

Spørgsmål:

Steen Iversen, FLS-miljø: Hvad er det der begrænser driftstiden?

Peder Stoholm: Begrænser driftstiden – det er der jo egentlig ikke noget der gør, bortset fra, at vi taler om et håndholdt anlæg. Når vi kører et 24-timers forsøg, så har vi jo, bortset fra nogle som vælger at blive der hele tiden, så er det jo noget med tre skift. Altså det er jo et fuldstændig aldeles uautomatisk det anlæg du vil kunne se, hvis du har tid til at se det bagefter.

Ulrik Henriksen: Og så skal det jo fødes, fødesiloen skal fyldes på hver anden time.

Peder Stoholm: Det er sådan set ikke noget problem for når vi kører det i 24 timer, så gør vi det ved at køre i 8*3 timer.

Ulrik Henriksen: Jo men der skal vel være nogen til at gøre det jo, til at køre anlægget. Det er vel det, som er begrænsningen?

Peder Stoholm: Ja det rigtigt, det er et spørgsmål om ressourcer.

Erik Winther, E2: Du har jo altid gjort meget ud af, at fortælle, at den her forgasser kører ved lav temperatur, 700°C, nu har du hævet den til 730 °C, men i en af oversigterne skrev du, at du kunne køre ved 825 °C, kan du ikke lige forklare det lidt nærmere?

Peder Stoholm: Det er noget vi gør i slutningen af 24 timers forsøget, for at konstatere, nu skal du forestille dig, at vi har siddet der i treskift og har kørt med den proces og i det tilfælde kører vi med 715 °C i den varmeste del altså koksreaktoren, og der har vi så kørt og hobet kalium op i bedmaterialet, og vi ved ikke hvor langt, der er til kanten, og derfor slutter vi forsøget, og vi taler om noget, der kun varer en time til sidst. Ved at lade temperaturen kravle op. Og vi undrer os altså virkelig meget. Undervejs passerer vi kaliumklorids smeltepunkt på 771 °C, alle væddemål sluttede deromkring.

Ulrik Henriksen: Grunden til at Peder viser dette, er for at teste om den sintrer, når man går op i temperatur.

Erik Winther, E2: Måske en enkelt lille kommentar til det der. Jeg tror simpelthen ikke, I har kørt lang tid nok. Den bed har givetvis ikke indeholdt forfærdelig meget kaliumklorid, i sandbedden. Så I skulle bare køre lidt længere ved 825 °C, så havde I set resultatet.

Peder Stoholm: Dertil vil jeg så sige, at det forholder sig så heldigt, at vi har kørt to forsøg siden, og vi har i meget høj grad genbrugt bedmateriale fra 24 timers forsøget, og vi har bestræbt os på at tilsætte så lidt sand som overhovedet muligt. Og det vi primært

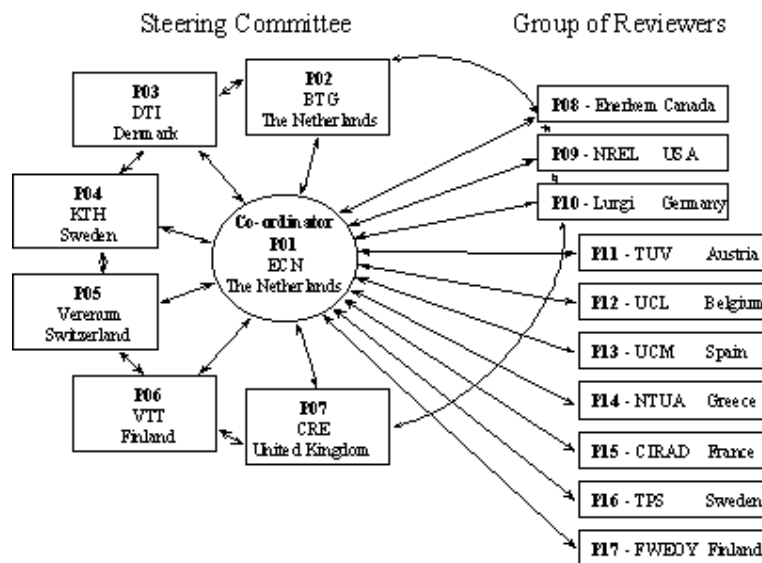
har suppleret med, det er bedmateriale fra et andet forsøg. Vi har sat en 3-4 kg bedmateriale til, så vidt jeg husker det, hvor vi har kørt mindst 12 timer på. Og jeg regner med, og jeg ved ikke, hvad du betragter som meget, men jeg regner med, at vi har et saltindhold i vores bed, der er omkring, hæng mig ikke på det, det ved jeg om en uges tid, altså det er en blanding af sand, og noget der ligner 20% salt, altså noget der ligner 8%-20% salt.

Ulrik Henriksen: Okay, ja så siger vi tak til dig Peder. Og så kan vi lige nå Teknologisk Institut inden frokost. Så må du ikke fortælle alt for meget om det ulækre tjæreolie, så vi helt mister appetitten.

Teknologisk Institut om Tjæremåling

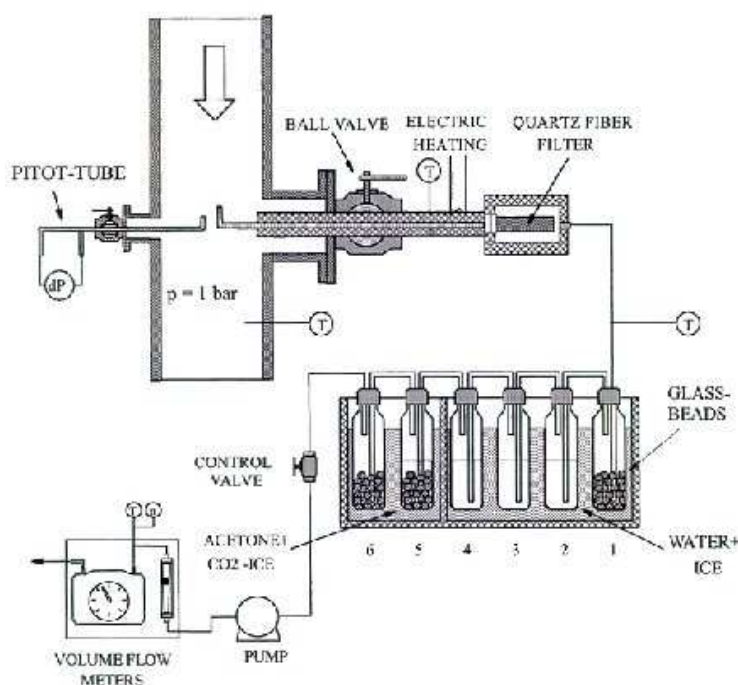
ved Uwe Zielke, Teknologisk Institut

Ja jeg skal fortælle om tjæremålinger. Tjæremålemetoder, de blev udviklet jeg tror nok det var i 90'erne. Og i slutningen af 90'erne, i 1998 der fik Henrik Flyver den geniale ide, at han ville lave en parallelprøvning på forskellige tjæremålemetoder. Så vi inviterede nogle europæiske laboratorier her til Danmark og så rykkede vi ud til Harbøre og til Høgild og så brugte vi hver sin tjæremålemetode. Resultaterne de var mildest talt nedslående. De pegede i hver sin retning. Der var op til en faktor 20 imellem de her tjæretal. Ud af det kom så, at man besluttede i EEA regi og i EU regi, at man ville lave et europæisk projekt, der går på at lave en ensartet tjæremålemetode. Her ser vi så, hvad vi har forestillet os, og hvad der også blev aktuelt.



Figur 33: Opbygningen af projektorganisationen

En projektorganisation der virker utrolig kompliceret. Det er deltagerne fra parallelmålingen, det er BTG og det er os, Verenum fra Schweiz og VTT fra Finland. De var selvsagt med til projektet, hvortil der blev knyttet en hel række af eksperter, som skulle lave revision på de her tar-protokol udkast. Vi gik fra udtrykket tar-protokol og blev enige om, at det skulle være en guideline. Altså en guideline, der fortæller, hvordan man måler tjære. Og i og med at VTT har været dominerende på det område og har målt tjære i flere år end mange af vi andre, så blev man enige om, at metoden skulle ligne lidt i retning af VTT's metode, der er baseret på opsamling i organisk solvent, der er placeret i de seks vaskeflasker.



Figur 34: Sampling train with org. solvent VTT-Finland

Så udtager man en prøve fra gasrøret gennem en opvarmet filter/opvarmet sonde og så ned i sådan en vasketrain, hvor der er nogle glasarter for bedre varmeovergang osv. Det hele er kølet ned. I den første del er der vand og is, og i den sidste del er der acetone og CO₂-is.

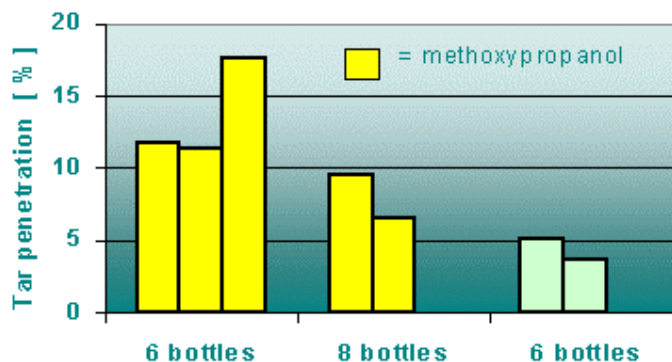
Parallel med dette EU-projekt, har der kørt nogle nationale ROD-projekter både herhjemme, som vi har gennemført, i Schweiz, Finland og Holland. Der skulle vi så teste det her prøvetagningstog. En af opgaverne var at komme væk fra dichlormetan i vandflasker, som man tidligere prøvetog med, da dichlormetan er sundhedsskadelig og måske kræftfremkaldende.

Her ser vi så et eksempel af sådan et resultat efter en prøvetagning:



Figur 35: Impinger bottles with DCM

Stadig lavet med dichlormetan. Hvor vi kan se at den første flaske er der meget tjære i, og efterhånden kan man se, at væsken bliver mere og mere gennemsigtig og så skulle der i den sidste flaske, hvor der også er væske i helst ikke være mere tjære tilbage. Så har de forskellige deltagere i deres ROD-projekter testet det her sample-train. Der har VTT bl.a. selv fundet ud af, at deres train ikke kunne opsamle alt tjære. Især når man målte på modstrømsgas, hvor der var risiko for aerosoldannelse, så var der noget gennemslag af tjære.



Figur 36: VTT's test on sampling train

De grønne søjler det er dichlormetan, og der ser vi, at vi har ca. 5% gennemslag. Som alternativ var schweizerne helt vilde med at bruge metoxypropanol i stedet for dichlormetan, og det testede man så også i seks flasker, som det train jeg viste lige før. Der har man et noget voldsommere gennemslag på i hvert fald 12%, og det er tre forskellige forsøg. Og så har man øget sample-train med to ekstra flasker til otte flasker, og så reducerer man gennemslag en lille smule. Det er selvsagt utilfredsstillende. Herhjemme har vi lavet forsøg med at finde frem til andre solventer, og det har vi simpelthen gjort ved at tage noget tjære fra Harbøre i en flaske, og rystet det med forskellige opløsningsmidler. Og her kan vi se et godt eksempel på et dårligt opløsningsmiddel. Her er tjæren bare rystet i solventet, og her er flasken bagefter vasket i solventet, så N-pentan kan overhovedet ikke opløse tjære. Og vi har prøvet med en hel

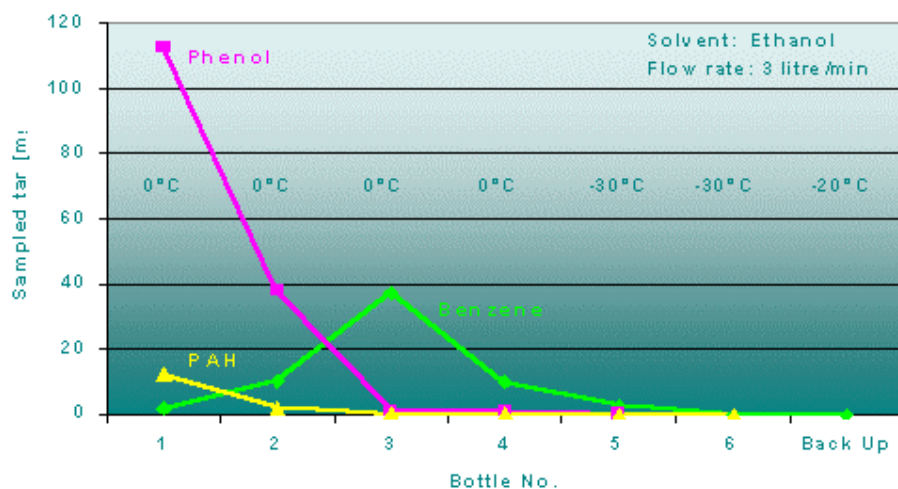
masse forskellige solventer og bl.a. også metoxypropanol som schweizerne var så glade for. Det ser, som vi kan se noget bedre ud. Vi kan tydeligt se, at tjæren er opløst i metoxypropanol, og når vi vasker flasken så bliver den også ren bagefter.

Vi fandt frem til metoxypropanol, isopropanol og ethanol var de tre bedste solventer til modstrømtjære. Vi gik over til ethanol, fordi vi syntes det var den allerbedste af de tre. Og så lavede vi vores efterfølgende forsøg med ethanol, der kan i så igen se sådan et train, der er fyldt med ethanol og der ser vi det samme. De første flasker tager noget mere tjære og så bliver der selvfølgelig mindre – det er naturligt.



Figur 37: Impinger bottles with ethanol

Så har vi kigget på de enkelte flasker, hvilke stoffer der bliver tilbageholdt hvorhenne. Og henede har vi så flaske 1-6 og så et backup-system, der skal opsamle gennemslaget. Og heroppe har vi så det, der er fundet i milligram i solventet. Vi kan se at PAH og phenol de er i hvert fald opsamlet når det har passeret den tredje flaske.



Figur 38: Tar absorption through guideline sampling

På figuren kan vi se flaskens temperatur. Benzen, som er lettere flygtigt, har et lidt andet billede. Det farer igennem første vaskeflaske, uden at der bliver tilbageholdt noget. Så efterhånden ved flaske 3 og 4, bliver benzen også tilbageholdt.

Her er så opstillingen af de her flasker der står i vand med is og acetone med CO₂-is.



Figur 39: Train med dichlormetan og train med ethanol

Det train her er med dichlormetan og det train her er med ethanol. Vi kan nok se, at når vi hælder noget CO₂-is ned i det acetone, så begynder det at koge helt vildt, og det står ud over kanten og isoleringsmaterialet bliver noget klæbrigt ulækkert stads.

Vores kære ven Finn, som har lavet mange af de her målinger, sagde, "at det her det gider jeg simpelthen ikke". For det første er det besværligt at fylde de flasker op efter hver måling, og for det andet er det arbejdsmiljømæssigt helt uforsvarligt at arbejde på

den måde. Og især Finn gik i tænkeboks i et hjørne på Teknologisk Institut. Ud af det kom et helt nyt vaskesystem, hvor vi har to vasketrin. Uden om det hele, er en kølekappe, hvor vi kan sende noget kølevæske igennem. Og vi kan ikke rigtig se, for der er sådan en voldsom tjæretåge her.



Figur 40: 1st generation of the 2 stage DTI Tar Sampling Train

Gassen kommer ind og går i en pitchuprør i bunden af første vasketrin, så bobler gassen op, og vi kan se her aerosolerne fra tjære og formentlig også fra vanddamp. Der har vi indlagt en glasfritte, det er et meget fint filter, som kan fås i forskellige porestørrelser. Det filter, det er i stand til at holde væsken oven over filtret tilbage således, at det ikke løber igennem til det nederste trin. Filtret bevirker samtidig, at bobledannelse, som gassen bobler igennem bliver meget fin. Vi får en stor overflade og et stort reaktionsareal og en bedre udvaskning derved. Filtret bevirker samtidig at det holder aerosoler tilbage. Når så målingerne er afsluttet, så kan man på den her studs sætte sin slange fra vakuumpumpen, lukke op for ventilen. Så løber væsken her ned i en beholder, og væsken heroppe fra bliver suget igennem filtret pga. det undertryk, som vi nu har, og fritten bliver vasket ren ved, at solventet løber tilbage.

Så har vi en prøve, der er lukket ind i en beholder. Der er ingen, der har rørt ved det, og påfyldningsstudsene til solventet ser vi deroppe. Det er meget nemt med en lille flaske at hælde noget solvent på de to trin.

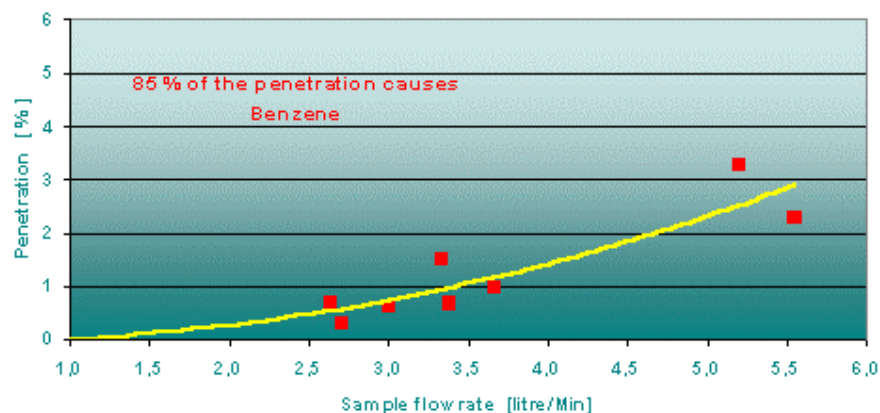
Det præsenterede vi for vores projektpartner og schweizeren. Han udbrød med det samme, at "this is the smart train", og de adopterede det med det samme. Det var ikke helt færdigudviklet endnu, det virkede godt nok. Men vi syntes, at det var endnu bedre, hvis filteret i midten, den der glasfritte kunne udskiftes således, at vi var sikre på, at den kunne renses, hvis der var partikler i filtret. Den er nu blevet lidt større, men er

stadigvæk betydelig enklere at bruge end alle de mange flasker. Vi har det midterste trin, det er en løs indsats, der er forsynet med glasslib og så sidder fritten, den sidder lige præcis der.



Figur 41: The new 2 stage DTI Tar Sampling Train

Så har vi testet om de to trin nu også er effektiv nok til at holde tjæren tilbage. Det er blevet gjort med en hel serie af målinger, hvor vi har varieret på vores flowrate.



Figur 42: Tar penetration through 2 stage DTI sampling train with ethanol

Herud af har vi penetration, altså gennemslag. Så ser vi selvfølgelig, at vores gennemslag er afhængig af vores flowrate. Ved flowrate, som tidligere tests med VTT-systemet blev lavet på tre liter pr. minut, der har vi et gennemslag på ca. 1%.

Det interessante er, at 85% af den ene procent gennemslag, det er benzen og benzen er normalt ikke en tjærekomponent der er særlig kritisk at have i sin gas. Motoren tager ikke skade af benzen. Så det er vi ligeglade med, at der lidt benzen der forsvinder. Det var det!

Ulrik Henriksen: Tak skal du have Uwe, nogen spørgsmål? .. Det er der ikke, de er sultne. Og så er der frokost i glassalen.

ReaTech om Additiver

ved Lasse Holst Sørensen, ReaTech



Additiver

i Forbrænding og Forgasning
af Faste Brændsler

Lasse Holst Sørensen

ReaTech

Web: www.reatech.dk, Email: lhs.ReaTech.dk

Teknikdag den 14. Marts 2002, Biomasseforgasning
(Institut for Mekanik, Energi og Konstruktion, DTU)

Figur 43

Jeg har fået ca. et kvarter til at sige noget om additiver i forbrænding og forgasning af faste brændsler. Og jeg kommer selvfølgelig ikke ind på ret mange additiver, men vi har deltaget de sidste par år især i to projekter, et projekt OCIFF, som omhandler cirkulerende fluid bed forgasning.

Forgasningsprocesser,

Deltagere:

OCIFF: Cirkulerende Fluid Bed Forgasning
ReaTech, VTT, MEK, ÅUE, RUC, GEUS
Oslo Universitet, Norges Tekniske og
Naturvidenskabelige Universitet, Energi E2.

Forgasning af biomasse til Energiformål:

Deltagere: MEK, ReaTech

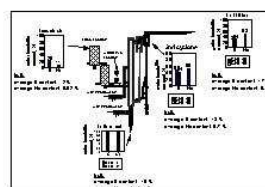
Forbrændingsprocesser

Enstedværket, flisoverhederen Kloridkorrosion ved
560-600°C (Elsam, Techwise)

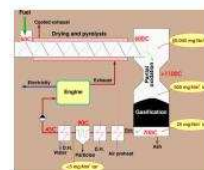
Avedøreværkets blok 2 (træpiller) (Energi E2)

Amagerværket blok 1 eller 2 halmpiller. (Energi E2)

Støvfyling: Kul



CFBG og FBG (VTT)



Totrinsforgasser (MEK)

Figur 44

I de to projekter deltager vi, VTT, MEK, Ålborg Universitet Esbjerg, RUC, Odense Universitet, Århus Tekniske Universitet og så især selvfølgelig Energi E2, som også bakker projektet op. Og så har vi et mindre projekt som vi laver sammen med MEK, der har jeg bare skrevet tottrinsforgasser af halm. Det vil Jens komme lidt ind på, når han kommer til.

Så må jeg lige sige, at begge projekter er stærkt støttet af energiforskningsmidler fra EFP. Udover forgasningsprocesser, så arbejder vi også en del med forbrænding og jeg vil ikke komme ind på det yderligere i dag, men vil bare sige, at vi bl.a. kigger lidt på Enstedværkets flisoverheder, hvor der er en kloridproduktion, og så satser vi på, om Venstre-regeringen vil, at komme til at kigge på Avedøreværkets blok 2 med træpiller og også blok 1 og 2 med halmpiller, et projekt sammen med Energi E2.

Der har vi så en CFB og MEKs tottrinsforgasser. De brændsler vi typisk arbejder med det er halm, træ, kul og affald.



Faste Brændsler

- Halm: Hvede, byg, græs, frø, raps
- Træ: Bøg, Birk, Fyr. (skov-) Flis, Bark, Ved
- Kul
- Affald: Plast, behandlet træ (lak, lim, maling)

Indfyret Form:

Oprevet halm, brænde, smuld, briketter, piller, støv

Samfyring: Brændsler + additiver

Figur 45

I dag vil jeg kun komme ind på hvede og byg. Når vi snakker om additiver i brændsler, så er det vigtigt hvilken form, både additivet og brændslet har, og derfor er det selvfølgelig vigtigt med den indfyrede form, om vi har oprevet halm, om vi har piller, eller støv, og for træ om vi har brænde, briketter eller flis. Og det, det drejer sig om, det er, at vi skal lave en eller anden form for effektiv sammenfyring af brændsler og additiver. Hvad forstår I egentlig ved et additiv?

Additiv, definition

- Brændselsadditiver er tilsatsmaterialer, som tilstræbes at forbedre
 - 1) Antændelsesegenskaber
 - 2) Brændselsomsætning
 - 3) Bed egenskaber (Fluid Bed)
 - 4) Egenskaber af Belægninger
(vægge, overhedere og filtre)
 - 5) Restprodukttegenskaberne
 - 6) Gassammensætningen

Figur 46

Ja der forstår jeg et tilsatsmateriale, som tilstræbes at forbedre antændelsesegenskaberne, brændselsomsætning, bedegenskaber, egenskaber af belægninger på vægge, overheder eller filtre, restprodukttegenskaber og gassammensætning. Det er mange egenskaber på en gang og nogle gange må man jo gå på kompromis.

Uorganiske hovedkomponenter i brændsler

mg/MJ (MJ/kg) Data bl.a. fra dk-teknik	Kul (25)	Halm (14.5)	Træpiller (17)
Aske (wt.%)	10	5	1
Cl (s, k, sa, b)	20	260	10
Na (s, k, c, sa, b)	20	35	5
K (s, k, c, sa, b)	50	650	40
Ca (c, sa, b)	100	150	150
Si (sa, b)	2000	300	1 - 10
Al (sa, b)	1000	5	1 - 10
S (s, k, sa, b)	400	100	35
s: saltddanner, k: korrosiv, c: katalysator, sa: forårsager agglomerering & sintring, b: danner belægninger. (procesafhængigt)			

Figur 47

De additiver, som vi har arbejdet med, på ReaTech – i de projekter vi har arbejdet med, er fortrinsvis kaolin, kalk-kridt, calciumoxid eller dolomit, magnesiumoxid, og så det der nok er en ReaTech specialitet fosfor-kalk sammensætninger.

Udvalgte Brændselsadditiver

- **Kaolin, Flyveaske (FA)**
- **Svovl (forbrænding)**
- **Gips**
- **Kalk, Kridt, Kalcium oxid, Dolomit**
- **Fosfor-kalk sammensætninger**
- **"Andre brændsler"**
- **Additivblandinger**

Figur 48

Når man har mange brændselsadditiver, som virker rimelig godt hver især, så kan man også blande dem, så vi har lov til at bruge alle mulige blandinger af de additiver, som vi har enkeltvis. Og så kan man bruge andre brændsler – især kemiteknik har jo sammen med Elsam, Elkraft og E2 kigget på samfyring med kul og halm. Mest Elsam.

Når man arbejder med additiver af faste brændsler, så kommer jeg med en påstand.

Brændsel Reaktioner /Reaktivitet

- **Påstand**
Der eksisterer et antal brændsler, B, hvis kemiske sammensætning gør dem velegnede som brændsel for en given forbrændings- eller forgasningsproces.
- Hvis Z er et aktuelt brændsel, og $Z \notin B$, så vælg additivkombination A, så:
$$Z + A \rightarrow B \quad (\text{Syntese})$$
- Krav:**
Additiver skal være reaktive på aktuel tidsskala (**kinetik**)!

Figur 49

Denne påstand er, at der eksisterer et brændsel, lad os kalde det B, hvis kemiske sammensætning gør den velegnet som brændsel for en given forbrændings- eller forgasningsproces. Og så hvis vi får et andet brændsel lad os kalde det Z, et aktuelt brændsel, som ikke har de egenskaber, at det er velegnet specielt til den proces man kigger på, så benytter man en additiv kombination af den, og laver så det velegnede brændsel B. Det er sådan meget groft sagt. Det kan man kalde for en syntese, som helst

skal virke på stor skala såvel som på lille skala. Og hvis man skal lave en syntese af den slags, så er der noget kinetik involveret, fordi de additiver de skal være reaktive og det skal være på en aktuel tidsskala, f.eks. på støvfyring må det gerne være i løbet af et par sekunder, og i CFB er det måske 5-10 min., så vi skal have styr på kinetikken af alle disse brændsler. Og så skal vi også have styr på mængden af dem. Og der må jeg gøre opmærksom på, at der er nogle gange, for især halm 5 % aske typisk, hvor der er en hel del kalium, som skal indfanges eller fortrænges, så kan det være nødvendigt at bruge relativt store mængder additiver. Det kan være dyrt, medmindre det er affald man benytter. Så det ideelle er at finde et godt affaldsmiddel og bruge det som additiv.



Kvantitativ anvendelse af Additiver

- Det kan være nødvendigt at anvende relativt store additivmængder (A), hvilket kan være dyrt (A ≠ Affald).
- Anvendelse af for små mængder eller ubalancerede mængder af et additiv kan i nogle tilfælde forøge eventuelle problemer eller blot ændre problemet:

Katalyse ↔ Sintring
Sintring ↔ Korrosion
Antisintring ↔ Faldende reaktivitet

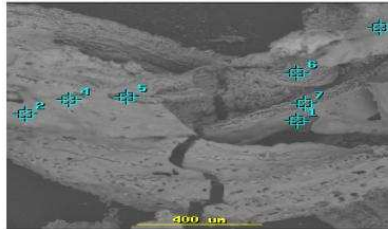
Additiv tilførsel skal være kvantitativt velafbalanceret, men robust. (Procesændringer, brændselsændringer)

Figur 50

På den anden side set, må vi så sige, at hvis vi bruger for små mængder eller ubalancerede mængder, voldsomt ubalancerede mængder af et additiv, så kan vi i stedet for at løse et problem i stedet for komme til at forøge det. Eller også kan vi ændre et problem til et andet problem. Ved forgasning er reaktionen relativt langsom, så man kunne f.eks. ønske sig at katalysere reaktionen ved at tilsætte calcium, nu bruger jeg calcium, fordi det er så velkendt. Hvis man tilsætter uheldige mængder calcium, kan man, hvis man ikke havde et sintringsproblem, få det. Hvis man havde et sintringsproblem, kunne man få et endnu større sintringsproblem.

Calcium og Fosfor tilførsel til Brændsler

- Calcium er et velkendt som additiv og katalysator
- Ca kan med fordel blandes med bindemidlet melasse og derved iblandes brændslet.
- Fosfor kan tillige tilføres brændslet – f.eks. som fosforsyre eller sammen med calcium eller magnesium



Smeltefase omgiver partikel (point 1, 2, 3 and 4). K:Si forhold er omkring 1 : 2, hvilket indikerer $K_2Si_4O_9$ ($T_m = 770^\circ C$).

Figur 51

Tilsvarende kan vi sige, at hvis vi har sintring, så ved vi, at ved at tilsætte calcium, kan man nogle gang formindske sintring, hvis man tilsætter de rette mængder. Men så kan man komme til at fortrænge silicium fra kalium, hvorefter vi producerer kaliumsalte, og dem ved vi kan give korrosion rundt omkring i forbrændingssystemerne.

En tredje mulighed er, at vi har antisintring, vi går efter antisintring, dvs. vi tilsætter nu kaolin eller vi tilsætter fosfor. Det binder f.eks. kalium og betyder, at man får en faldende reaktivitet. Hvis man overdoserer eller doserer forkert, så er man nødt til at sætte temperaturen i vejret og så optræder der nogle nye sintringsproblemer, som er kendetegnende for den nye temperatur man arbejder ved. Så konklusionen må være, at additivtilførsel skal være kvantitativ velafbalanceret og alligevel skal det være robust, bare fordi der sker procesændringer eller brændselsændringer, skal det jo ikke være sådan, at hele systemet bryder ned uden forvarsel.

Så vil jeg lige hurtigt indføre et indeks som de fleste af jer har hørt om. Et Sintrings- og Agglomereringsindeks. Det skal vi lige bruge lige om lidt. Det hedder SAI. Vi sætter lig med nul.



Sintrings og Agglomereringsindeks

SAI

SAI=0*

Ikke-sintret aske: aske struktur ligner den originale brændselspartikelstruktur ligner de oprindelige partikler og går let i stykker ved berøring

SAI=1-2*

Delvist sintret partikler, der klart indeholder smeltet aske

SAI=3*

Totalt sintret aske. Asken består af store sammensmeltede partikler

Figur 52

Og hvis man har en aske, f.eks. fra en cirkulerende fluid bed eller fra tottrinsforgasseren, og den aske ikke er sintret og ligner den originale brændselspartikelstruktur eller går i stykker ved berøring, eller som jeg nogle gange føler, når jeg er heldig, at det er sådan en gang gåsedunsaske, så giver man det indeks nul. Og hvis der er nogle delvis ændrede partikler, der helt klart indeholder noget smeltet aske, giver vi det indeks 1-2, og hvis det er en total sammensintret aske, så får den indeks 3 stjerner. Det er et meget godt indeks at arbejde ud fra. Jeg vil lige vise, hvordan det ser ud.



Calcium og Fosfor

Case#	T (°C)	R [min ⁻¹]	Addition	Time [min]	SAI	CI	Main diffraction component
456	850	0.45	-	8	3	1	
457	850	0.14	1X H ₃ PO ₄	25	1-2	3	K ₂ CaP ₂ O ₇ +KCl
461	850	0.057	2X H ₃ PO ₄	76	0	3	
462	850	0.13	1.2 g CaP	46	0	0	
469	800	0.26	-	8-12	2	-	
470	850	0.61	-	4-8	3	-	
471	900	0.92	-	4	3	-	
472	900	0.30	1 g CaP	9-17	3	-	
473	750	0.094	-	25-33	1	-	
474	850	0.32	1 g kaolin	11-20	0.	-	
475	900	0.18	1.5 H ₃ PO ₄	15-20	0.	3	K ₂ CaP ₂ O ₇ , Fe ₃ O ₄ *
476	700	0.036	1.5 H ₃ PO ₄	82	0.	-	
477	850	0.074	1.5 H ₃ PO ₄	43	0.	3	K ₂ CaP ₂ O ₇ , Fe ₃ O ₄ *
478	850	0.16	- & washed	18-36	1	-	
479	950	0.37	1.5 H ₃ PO ₄	7	0	3	
480	900	0.40	1 g kaolin	8	0	-	
481	950	0.68	1 g kaolin	5	2	-	
482	950	0.48	2 g kaolin	5-8	0	-	
483	950	0.52	1 g kaolin ⁽⁶⁾	7	0	0	
484	850	0.16	1 g kaolin ⁽⁶⁾	30	0	-	
485	900	0.21	1 g CaP ⁽⁶⁾	15	0	-	
486	950	0.47	1 g CaP ⁽⁶⁾	7	0	0	K ₂ CaP ₂ O ₇ + β-Ca ₃ (PO ₄) ₂
487	1000	hurtig	1.5 H ₃ PO ₄	4	0.	3	

Figur 53

Så vi havde altså stort set urørte partikler eller askepartikler, som ikke er smeltet sammen overhovedet. Nogle som er smeltet en lille smule sammen, nogle der er smeltet stærkt sammen, og nogle som virkelig er smeltet fuldstændig sammen. Man er ikke i tvivl, når man har sådan en tre stjerner eller to stjerner. Nu nævnte jeg calcium lige før. Fordi, det som vi gør, vi prøver også alle de andre additiver, men det som nok er specielt for os, er, at vi prøver at kombinere calcium og fosfor til brændsler. Og calcium den er jo velkendt som additiv – katalysator. Vi har så fundet en teknik, hvor det er vigtigt at få den blandet ind i brændslet, så der har vi fundet en teknik, hvor vi bl.a. bruger melasse til at blande vores calcium i. Det letter dens adgang til brændslet, og så tilsætter vi fosfor og det kan man f.eks. tilsætte som fosforsyre eller sammen med calcium eller magnesium.

Der skal jeg lige sige, at det var det allerførste eksperiment, hvor vi tilsatte fosfor på deres Makro-TGA. Det der mislykkedes, fordi der havde vi regnet ud, hvor meget der skulle i, troede vi. Og da vi så havde adderet det, så siger Ulrik, det der, det var meget værre end før. Det var det nu ikke, men det var umiddelbart slemt, for den der fine hvide fase, som I har yderst her, det har støkiometrisk formlen $K_2Si_4O_9$, og det er et kaliumsilikat, som har et smeltepunkt på omkring 770 °C. Det klistrede godt sammen.

Men hvis man knækker den her og kigger ind midt i den, så opdager man, at der ligger en masse fosfor derinde. Og det er sådan en dejlig granulat, som virker – den bliver vi optimistiske af at kigge på. Efter vi har gjort det, så lavede vi en hel serie målinger med forskellige mængder af fosforsyre og så den her calcium-fosfor-blanding af forskellige typer, der var også noget kaolin og vasket halm osv. Det eksperiment I lige så her ved 850 °C, det var ren fosforsyre. Der så vi, at vi fik en indeks 1-2, det var ikke fuldstændig sammensintret, men det var heller ikke specielt godt. Vi har et andet indeks, som vi egentlig også indførte med indeks 1, 2 eller 3, og det er en korrosionsindeks.

Og det vi kan se, det er, at vi får en høj korrosionsindeks. Det bliver faktisk 3, dvs. den metalholder, som sidder i makro-TGA'en var fuldstændig korroderet. Det var ikke så godt. Så prøvede vi at addere dobbelt så meget fosforsyre. Det der skete der, det var, at sintringen sådan set helt forsvandt, og så havde vi den her gåsedunsaske, men vores korrosion den var stadigvæk intakt. Og så tilsatte vi en calciumfosfor-blanding og så slap vi tilsyneladende af med begge dele. Det var ganske godt ved 850 °C.

Der var lige et eksperiment her ved 900 °C, hvor sintrings og agglomereringsindekset siger 3, altså ganske sintret. Men efterhånden fik vi lært at lave calciumfosforblandinger – vi kan se hernede, der kan vi se vi har kørt ved 900-950 °C, og vi har i hvert fald ingen sintring og agglomerering og tilsyneladende heller ikke nogen korrosion. Den korrosion vi ser ved 900 °C ren fosforsyre, det er simpelthen ren jernoxid. Så har vi heroppe en kalium/calciumphosphat med noget kaliumklorid. Der var ikke helt nok i. Hernede har vi en forbindelse mellem kalium/calciumphosphat-forbindelse og så jern. Det er det, som giver korrosionen der. Hernede der lykkedes det for os at lave en forbindelse, der hedder K_2 -calcium P_2O_7 altså calciumphosphat. Og der er det så ligesom tesen, at vi prøver at lave en kombination. Der er lige nogle enkelte flere difraktioneksperimentet ved høje temperaturer. Der har vi lavet en blanding af en fosfor-calcium-forbindelse og hvedeaske, hvor hvedeasken helt klart er stærk sintret. Så har vi en melasseblanding, en sukker-calcium-blanding kan man sige, som vi også blander sammen med hvede 2, og så har vi lagt prøverne ind i nogle små kvarts-

kapilærrør. Så har vi varmet prøverne op med 15 °C i minuttet til 900 °C og har så ladet den blive der i 15 min og så varmet lidt igen. RT betyder room temperature og det er ca. 30 °C.

Diffractions eksperimenter ved høje temperaturer



- Samples:
 - CAP: W#2 ash w. Ca/P,
 - CAM: W#2 ash w. molasses/Ca
- Experimental details: Mounted in 0.7 mm quartz glass capillaries w. glass wool.
- Heated in O₂ flow, RT-900°C, heating rate 15°C/min.

RT	→	900°C	→	RT
1h		15 min		1h
- Full imaging plate used, 30s. exposure, 122 s between images

Figur 54

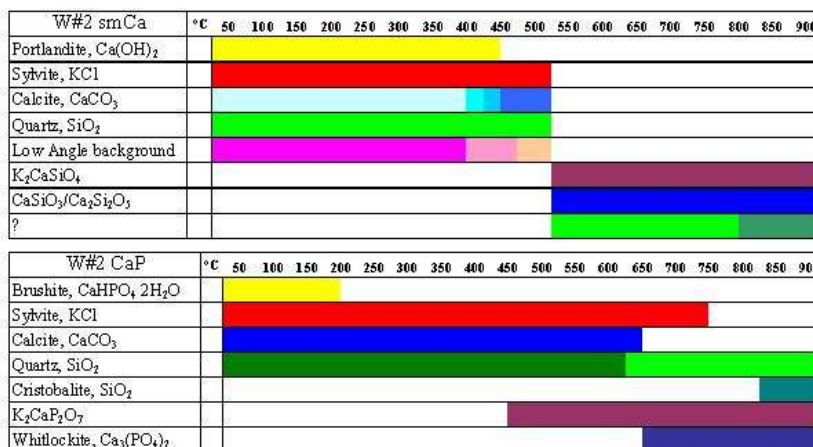
Det arbejde lavede vi på det europæiske Synkrotron Strålings Facilitet ESRF i Grenoble. Der kan vi så se resultaterne derfra:



Kemiske reaktioner ved høje temperaturer

Norby P., Posselt D., Sørensen LH. (2002).

(Synkrotron Strålings Facilitet: ESRF, Grenoble)



Figur 55

Her har vi asken der er blandet med calcium-melasse. Der kan vi se, at vi starter ved 30 °C med at have en del calciumhydroxid, så har vi kaliumklorid eller sylvit, så er der noget calciumkarbonat, så er der noget kvarts, og så er der det, der hedder en småvinkel baggrund. Den småvinkel baggrund den er lidt sjov, for det er nemlig sukker. Og det vi kan se, jeg skal lige sige, at disse eksperimenter er foregået i rent ilt. Det der sker med sådan en sukkerblanding når den bliver varmet op til omkring 400 °C, så begynder den at brænde, så I kan se her, at der bliver mindre og mindre sukker. Så sker der det, at der dannes kuldioxid. Så laver vi vores calciumhydroxid om til calciumkarbonat. Så sker der det, at vi er færdige med at brænde her og dup, så kommer vi herved, og så har vi pludselig nogle kalium-calcium-silikater, nogle calciumsilikater og så nogle specier, som vi ikke rigtigt kan se, hvad er for nogle.

Jeg kan sige, at denne her har en sintrings og agglomereringsindeks på en 2-3 stykker. Den var ret hård. Så der tilsatte vi ca. 2 vægt % calciumhydroxid på den måde. Herved har vi så prøvet med vores calciumphosphor-forbindelse. Og der kan man se, at starter vi med en calciumhydrogenphosphat omkring 200°C, bliver den ustabil. Kaliumklorid, den fortsætter herop til 750°C. Så har vi kalcit op til 650°C. Så kan vi se kvarts, som vi også havde heroppe. Denne her får så en faseomdannelse. Den bliver omdannet til kristogalit omkring 800-850 °C. Det er lidt unormalt, at de bliver dannet ved så lave temperaturer, men det skyldes, at der er en lille smule natrium tilstede. Det katalyserer den reaktion.

Så kan vi se, at her omkring 450 °C, der får vi lavet den der kalium-calciumphosphat-forbindelse. Og så her lidt senere, får vi faktisk dannet en calciumphosphat, som vi også så i makro-TGA-eksperimentet. Denne havde et smeltepunkt på omkring 1140 °C og den her ligger omkring 1600 °C. Det er en kalium-calcium-phosphat, vi tidligere så på ligger også omkring 1600 °C i smeltepunkt. Spørgsmålet er så selvfølgelig, om man kan få det til at fungere på lidt større skala, når man har lavet sådan noget i småskala, i laboratoriet, så er det jo spændende at vide.

Her har vi så en additivtilsætning til halm til forgasning i tottrinsforgasser:

Additivtilsætning til halm til forgasning i totrinsforgaser



Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	Cl	SAI ₂₅₀	SAI ₄₅₀
#1 Wheat	29.9	0.8	1.3	10.6	5.6	27.7	1.5	0.07	5.5	10.8	4.2	2.5*	3*
#2 Wheat	29.9	0.2	0.2	10.4	4.1	32.5	0.5	0.03	6.0	3.9	11	2*	3*
#3 Wheat2000	52.0	0.6	1.1	9.2	1.8	21.9	0.3	0.06	4.0	3.2	5.6		3*
#4 Wheat2000+	36.6	0.4	0.7	13.1	1.4	15.1	0.2	0.11	2.0	28.6	5.5	0*	0*
Elemental Basis	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	Ti	S	P	Cl		
#1 Wheat97	14.0	0.42	0.91	7.58	3.4	23.0	1.11	0.04	2.2	4.7	6.0		
#2 Wheat	14.0	0.10	0.17	7.40	2.5	27.0	0.38	0.01	2.4	1.7	5.9		
#3 Wheat2000	24.3	0.32	0.77	6.58	1.1	18.8	0.22	-	1.6	1.4	5.2		
#4 Wheat2000+	17.1	0.21	0.49	9.36	0.84	12.5	0.15	0.07	0.8	12.5	5.5		

Figur 56

Og der kan vi se, at vi har ca. 8 % aske i den. Der er meget silicium i den. Der er relativt ikke så meget kalium i det, men da der er 8% aske i, så er der ganske meget kalium alligevel. Og så er der lidt klor, lidt fosfor og ikke så meget calcium. Så har jeg adderet denne her calcium-phosphor-forbindelse, så får jeg den her nede. Det gjorde jeg sammen med Jens Dall Bentzen. Der kan vi se, at vi får temmelig meget fosfor i det. Så vidt jeg forstår, så gik det rimelig godt med de forsøg i totrinsforgasseren, og vi har lavet noget tilsvarende på VTT's atmosfæriske fluid bed.

Så vores opsummering her er, at vi har undersøgt en hel del additiver sammen med halm og træ ved høje temperaturer under nogle betingelser, der er relevante ved forbrænding og forgasning.



Opsummering

- Anvendelse af et antal additiver har været undersøgt sammen med halm og træ ved høje temperaturer under betingelser relevante for forbrænding og forgasning
- Laboratorietest har været gennemført.
- Der har efterfølgende været gennemført test på MEK's totrinsforgasser og VTT's AFB m.m.

Figur 57

Så har vi lavet en hel række laboratorietest, og så har der efterfølgende været nogle tests på MEK's tottrinsforgasser og VTT's AFB. Jeg håber, at Jens vil fortælle om de forsøg lidt senere i eftermiddag.

Deltagere, der har bidraget til dette arbejde!

Energi E2: Erik Winther
VTT: Antero Moilanen, Esa Kurkela
MEK: Ulrik Henriksen, Jens Dahl Bentsen, Jan Fjellerup
ÅUE: Per Stoltze
RUC: Dorte Posselt
GEUS: Per Rosenberg
Oslo Universitet: Poul Norby
NTN: Håvar Risnes, Maria Bario, Johan Hustad
Techwise: Niels Henriksen

Figur 58

Ulrik Henriksen: Tak skal du have Lasse. Er der nogle spørgsmål til Lasse Holst Sørensen? Det er der ikke. Vi siger tak Lasse.
Så er det Helge Egsgaard fra RISØ og Helge du vil fortælle lidt om klor.

RISØ om klor

ved Helge Egsgaard, RISØ

Organisk Chlor i Forgasningsgas

v/

Helge Egsgaard; Forskningscenter Risø

Thomas R. Nissen; Babcock Wilcox & Vølund

Uwe Zielke; Teknologisk Institut, Aarhus

Figur 59

Ja tak til Ulrik, jeg vil fortælle lidt om klor, og jeg vil faktisk gøre det lidt mere specifikt, for det jeg vil tale om, det er organisk klor i forgasningsgas, og som det fremgår, så er det nogle resultater, som fremkommet i samarbejde med Thomas Lassen fra Vølund, og fra Teknologisk Institut i Århus.

Min disposition ser sådan ud:

Lay-out

Chlor i forgasningsgas

På sporet af methylchlorid

Analysemetoder

Resultater fra Harboøre

Dannelsen af methylchlorid som funktion af

1) Flis kvalitet

2) Temperatur

Hvordan dannes methylchlorid ?

Konklusion

Figur 60

Der er faktisk en ganske lang række af punkter. Det gør så igen, at det bliver en lille smule overordnet, det jeg vil sige, for jeg har kun et kvarter til rådighed.

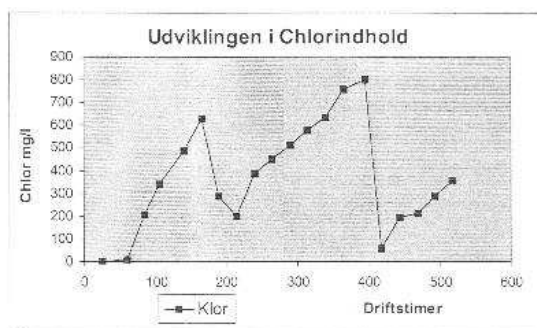
Først vil jeg fortælle lidt om, hvad vi blev opmærksomme på, hvorfor vi så klor i forgasningsgas. Derefter kommer der lidt om vores detektivopgave, nemlig på sporet af methylchlorid. En lille smule omkring vores analysemetoder, og så har jeg nogle resultater fra Harboøre. Derefter vil jeg diskutere dannelsen af methylchlorid, som funktion af fliskvalitet og temperatur. Og til sidst, der slipper vi ikke for en lille smule kemi, for jeg vil godt prøve at berøre emnet, hvordan dannes methylchlorid i forgasningsprocesser og som afslutning er der en konklusion.

Der er sikkert nogle af jer, der er en lille smule skuffede, for når vi taler om klor, så tænker man normalt på klor i relation til forbrændingsprocesser, og så er det faktisk ovre i noget, som jeg vil betegne som uorganisk aspekt. Taler vi om forgasning af biomasse, så er det faktisk ikke rigtigt kendt, at klor kan spille en rolle. Jeg har valgt at formulere det på en lidt pænere måde, ved at sige, at det ikke er kendt.

Vi så her til morgen fra Bjørn en kurve, som havde noget at gøre med inkorporering af klor i olien på de store gasmotorer i Harboøre. Hver gang man startede de motorer første gang, blev der iværksat nogle meget detaljerede analyser. Man fulgte det ganske nøje. Det blev også meget hurtigt klart, at vi kunne se, at der skete en akkumulering af klor i olien. Og vi sad selvfølgelig og overvejede det på kryds og tværs, om der mon var nogen, der havde tabt en pvc-kuglepen i olien på et tidspunkt, eller noget tilsvarende. Så derfor var der stor spænding, da vi skulle skifte olien første gang. Så kunne vi så se, at den gik støt og roligt op igen, og ved næste skift skete det samme.

Introduktion

**Den første antydning af organisk chlor v/
forgasning fremkom ved analyse af
motorolien (Harboøre).**



Figur 61

Så det var helt klart, at der skete et eller andet, som vi ikke havde forestillet os kunne ske. At der var klor med i spillet, det stod sådan set også rimelig klart, fordi hvis man kiggede på pH ved røgkondensatet, så var den lav. Vi kunne også påvise klorid i det kondensat. Det tydede så på, at der var noget klorbrinte under forbrændingsprocessen.

Introduktion

Forbrænding af biomasse

Chlor ? Et uorganisk aspekt.

Førgasning af biomasse

Chlor ? Ikke erkendt.

Figur 62

Introduktion

Tilstedeværelsen af chlor-forbindelser understøttedes af

- 1) Lavt pH i røgkondensat
- 2) Chlorid i røgkondensat

Ingen specifikke lavmolekylære forbindelser påvist i olien

Figur 63

På Risø kastede vi os ud i en større opgave, ved at kigge på smøreolie. Smøreolie det er en utrolig kompleks blanding. Men ikke desto mindre gik vi på jagt efter organiske klorforbindelser, men vi fandt ikke nogen. Vi lavede også nogle oprensningsforsøg og de var også negative mht. klorforbindelser. Det var ensbetydende med, at vi skulle forsøge at være en lille smule mere kreative. Det er så heldigt på RISØ, at der arbejder vi faktisk med mange forskellige ting. Vi arbejder også meget tværfagligt og jeg har tidligere beskæftiget mig med noget atmosfærisk kemi. Jeg vidste faktisk, at man i atmosfærisk kemisk sammenhæng havde fokuseret på methylchlorid. Methylchlorid er en meget simpel organisk forbindelse. Hvis vi skal se på det, kan man forestille sig, at man tager metan, fjerner et brintatom og erstatter det med et kloratom. Så simpel er det. Man vidste, at methylchlorid frigøres fra det vi kalder naturlig brande, f.eks. savannebrande og skovbrande. Dog er det sådan, at de processer helst skal være, hvad man kalder ulmende brande. Der kommer også ganske meget fra våde områder, men det har ikke noget med sagen at gøre. På næste overhead, kan vi se at methylchlorid faktisk spiller en stor rolle, hvis man sådan lige kigger på den totale belastning med klor i atmosfæren.

Introduktion - Methylchlorid

Methylchlorid er en meget simple organisk forbindelse som i stort omfang frigives til atmosfæren fra dels naturlige brande dels fra vådområder.

Methylchlorid spiller hermed en meget stor rolle for så vidt, at fokus er på den totale belastning med organiske chlor-forbindelser i atmosfæren.

Til gengæld er effekten mere beskeden når det drejer sig om effekt i relation til ozonlaget eller som en mere trivial drivhusgas.

Figur 64

Der kan man så sige, at effekten, den er beskeden. Der er ikke nogen som helst indflydelse på ozonlaget, og snakker man som drivhusgas, der har den faktisk heller ikke den store effekt. Så hvad det angår, der er det faktisk en rimelig harmløst molekyle. Den næste overhead jeg viser er fra litteraturen.

Introduktion 2

- "Naturlige" brande bidrager voldsomt til atmosfærens chlor-pulje
- Globalt frigøres ca 500.000 t/år
- Forholdet MeCl/CO₂ angives 43 ppm på mol basis.

TABLE 2
Burning's contribution to global emissions
Comparative global emissions from biomass burning with estimates of emissions excluding biomass burning (2).

Species	Biomass burning (Tg elements year)	All sources (Tg elements year)	Biomass burning %
Carbon (fixed) (gross)	1500	3750	40
Carbon dioxide (net)	1800	5	26
Carbon monoxide	350	100	32
Methane	38	240	16
Nonmethane hydrocarbons	24	100	24
Nitric oxide	12	40	30
Ammonia	2.8	44	6
Sulfur gases	2.8	50	6
Methylchloride	10.51	48	22
Hydrogen	19	7	25
Propylchloride	420	1100	38
Total particulate matter	100	130	7
Particulate organic carbon	60	180	33
Elemental carbon (black soot)	19	<22	>85

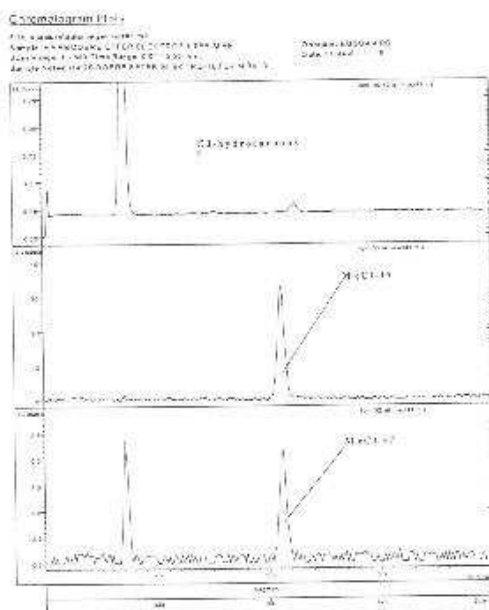
*Excluding biomass and

Figur 65

Det er faktisk sådan, at fra naturlige brande, der frigives der så meget som 1/2 mio. tons klor om året. Så det er absolut signifikant. Men ikke desto mindre, som det fremgår af tabellen, hvis man kigger lidt på den, kan man se, der står methylchlorid. Og der er den halve mio. tons og den samlede mængde er så 2,3, og der kan vi så se, at biomassen bidrager med ca. 22%. Vi har kastet os ud i en større analyseopgave. Faktisk har vi arbejdet på det, forstået på den måde, at vi har haft det liggende i størrelsesordenen 1-1½ år. Analysen af methylchlorid fra gassen, den er faktisk ikke trivial. Det hænger sammen med, at methylchlorid i de procedurer som vi gør brug af, falder i det vi kalder C3-området, dvs. propan, propen osv. Samtidig er der så det problem, at de kulbrinter er

tilstede i en mængde, der i størrelsesorden er 1-2 gange større end koncentrationen af methylchlorid. Det medfører så, at man meget let kan havne i den situation, at man får nogle falske positive bidrag, og det var faktisk også den situation vi var i, i starten. Men vi har udviklet en meget selektiv analysemetode baseret på GC/MS. Hvis vi skal se på sådan en analyse, den er hentet fra Harboøre før elektrofiltret, så det repræsenterer i virkeligheden rågassen.

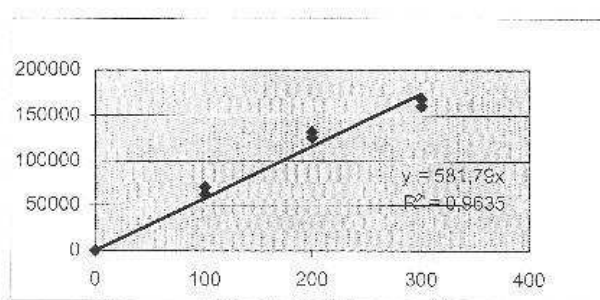
GC/MS analyse af gasprøve fra Harboøre (før elektrofilter)



Figur 66

Det øverste spor deroppe, det er sådan set det, som kommer ud af vores system på det tidspunkt. Den store top vi kan se, det er propen og de to små toppe, det er alen og propyl. Det er faktisk sådan noget, som vi ikke forestiller os normalt er i forgasningsgas. Men det er der altså, når man går i den detalje. De to næste spor, det er så i virkeligheden vores methylchlorid analyse. Man kan se to toppe, som ligesom falder sammen. Det er faktisk netop metylchlorid-signalet. Så dvs. vi har netop en analyse, hvor vi har en Cl dt (?) med basis i det tidsforløb, der ligger i analysen. Og vi har en noget movexinformation, og så det bedste af det hele, så har naturen, den gang man i virkeligheden skabte klor, der har man lavet to isotoper, 35-37 en meget bestemt forhold. Så dvs. vi får i virkeligheden også en meget stor sikkerhed for, at det er klor i netop den forbindelse. Når vi er så langt, er det faktisk i virkeligheden også meget nemt at udføre kvantitative analyser. Bare for at give jer en fornemmelse af, hvordan sådan kalibrering ser ud.

Kvantitativ analyse af methylchlorid



GC/MS instrumentet kalibreres med fortyndinger af methylchlorid (N2.8) fra trykflaske

Figur 67

Den nydelig retlinet og den er skabt vha. methylchlorid som vi får fra trykflaske. Det er sådan set det aktuelle område, der går fra 0-400 ppm.

Resultater fra Harboøre. Der er taget prøver derude flere gange. Det er et eksempel på sammenhørende sæt, hvor vi har set på rågassen, vi har set på den rene gas, og så har vi set på emissionen af røggassen fra motoren.

Resultater fra Harboøre

♦ Rå gas	29 ppm
♦ Ren gas	28 ppm
♦ Efter motor	< 0.5 ppm

“Naturlig” koncentration af methylchlorid i forgasningsgassen i Harboøre er ca. 30 ppm.

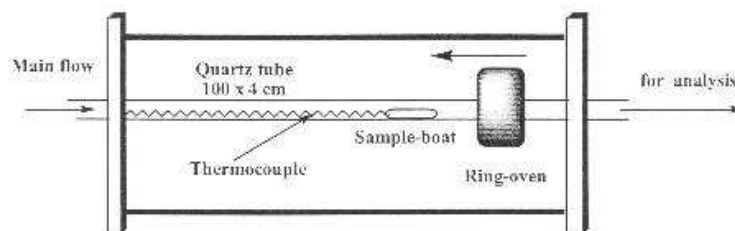
Der vil ved direkte måling på røggasen normalt **IKKE** kunne påvises methylchlorid.

Emissionen af methylchlorid vil sandsynligvis primært følge slippet af forgasningsgas.

Figur 68

Som man kan se, så har elektrofiltret faktisk ikke den store konsekvens for koncentrationen af methylchlorid i gassen. Den ligger omkring de 30 ppm. Det der så i virkeligheden er meget positivt, det er, at vi efter motoren overhovedet ikke er i stand til at påvise methylchlorid. Hvis man skulle forestille sig, at der skulle være en emission, så kunne man måske se det, hvis man havde en dårlig gasmotor, men Harbøre, der ser vi overhovedet ikke noget. Det var sådan set den analytiske del af det. Men nu var vi jo så blevet interesserede i systemet. Og en af de næste ting vi gjorde, det var at kaste os ud i sådan at lave forgasning i meget lille målestok i vores laboratorium. Der bruger vi "Die Norm" altså et tysk koncept, som er en ca. en meter lang kvartsrør 4 cm udvendig.

DIN 53436 experiment



Figur 69

Der har man så en ringovn, som løber ned af ovnen. Når jeg siger løber, så er det lidt af en tilsnigelse, for den bevæger sig med en hastighed i størrelsesordenen 1 cm i minuttet. Inde i kvartsrøret har vi nogle små kvartsfiler. Der afvejer vi så det materiale vi vil undersøge, eksempelvis flis i størrelsesordenen gram. Så kan vi i princippet måle temperaturen.

Ovnen bevæger sig modstrøm i forhold til et hovedflow i kvartsrøret. I dette tilfælde er det kvælstof. Så har vi efterfølgende mulighed for at analysere på den gas, der kommer ud af det. Ulf Meyer Henius skaffede mig to meget spændende prøver. Det var en savværksflis og det var en grønflis.

Betydningen af chlorid-indholdet i flis

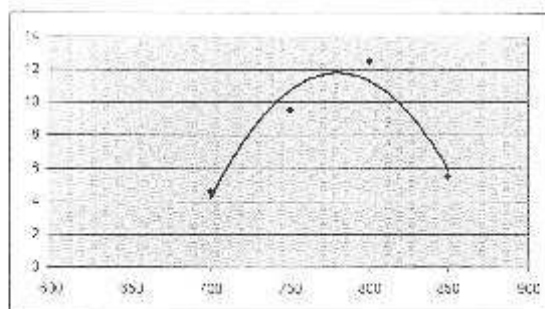
Prøve	mg chlorid pr kg tør flis	ppm CH_3Cl i gassen
savværksflis	12	4,4
grønflis	54	13,8

Prøver er undersøgt i DIN ovn ved 850 °C i nitrogen atmosfære

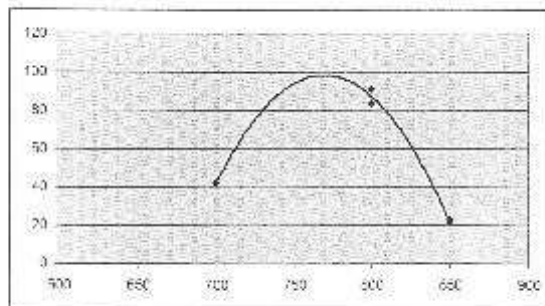
Figur 70

Det der er karakteristisk ved dem, det er, at de har et meget forskelligt indhold af klorid hhv. 12 mg/kg og 54 mg/kg. Så var spørgsmålet så, om det ville afspejle sig i methylchloridkoncentrationen i gassen. Og det kan man se, at det gør det. Der er en nydelig proportionalitet i det der. Undersøgelsen er så udført ved 850°C i nitrogen. Vi har også brugt det system til at undersøge, hvilken temperatureffekt der er. Det får man en fornemmelse af, på det her billede.

Dannelsen af methylchlorid som funktion af temperatur



Frigivelse af methylchlorid fra lignin plus KCl



Frigivelse af methylchlorid fra grønflis

Figur 71

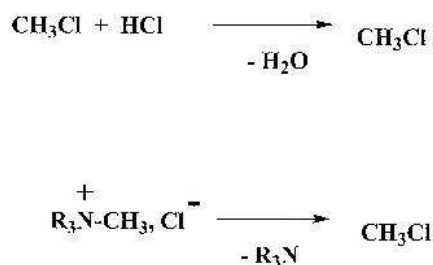
Der kan man se på den nederste graf, det er frigivelse af methylchlorid fra grønflis, den begynder at komme pænt op når vi passerer de 650 °C, og finder sig et maksimum omkring de 800 °C, og så falder den igen. Vi har også forsøgt at efterligne den proces med "rene varer" så at sige.

Fordi man kan købe lignin fuldstændig rent og i øvrigt i forskellige kvaliteter, så har vi blandet det sammen med kaliumchlorid, og der kan man se, at der får vi et fuldstændig tilsvarende forløb. Det er sådan set et af de resultater, der siger noget om, hvordan methylchlorid dannes, nemlig at methylgruppen kommer primært fra lignindelen.

Kurverne siger også en anden ting. Det er sådan set, at når vi kommer tilstrækkeligt højt op i temperatur, så forsvinder methylchloriden igen og dvs., at hvis man f.eks. har med en medstrømsforgasser at gøre, så er sandsynligheden for, at methylchloriden sidder i store mængder, ikke helt så stort. Det gør så også, at f.eks. Peder Stoholms koncept, det formentlig ligger midt imellem. Det er faktisk sådan, at jeg har fået prøver fra Peder. De ligger på vores laboratorium, så det bliver rigtig spændende, at se dem.

Så lovede jeg, at jeg ville sige en lille smule om kemi. Hvordan dannes methylchlorid i grunden? Der er det sådan, at der er en enkelt rapport i litteraturen, hvor man har forsøgt at rationalisere methylchloriddannelsen på savannebrande, som omtalt for lidt siden. Okay der skulle have stået metanol til venstre, men det abstraherer vi fra.

Dannelsesmekanisme for methylchlorid



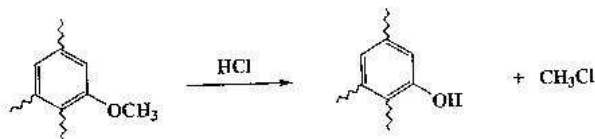
..... ikke sandsynlige.

Figur 72

Den første proces, det er så metanol + klorbrinte \rightarrow methylchlorid. Det er sådan set en kendt proces, så den tror jeg på. Til gengæld stoler jeg ikke helt på den i denne sammenhæng. Det hænger sammen med, at der kun dannes små mængder af metanol og klorbrinte. Så netop at to små produkter, skulle give anledning til næsten et kvantitativt methylchloriddannelse, det virker mistænkeligt. Jeg har ikke tidligere nævnt, hvor meget der i grunden bliver dannet. Ser man på resultaterne fra savannebranden, har vi lavet nogle beregninger, som viser, at den klorid som er i planterne, der omdannes reelt et sted mellem 2%-40% af klorene til methylchlorid. Så det er ganske store mængder vi taler om. De eksperimenter jeg har udført på "Die Normen", der ligger vi omkring de 50%. Det er ganske overraskende.

En anden mulighed er, at klorid kan være mod-ion til nogle forbindelser iblandt kvartære ammoniumforbindelser fra hvilken den så kun frigives ved termisk proces, altså opvarmning. Denne er heller ikke særlig sandsynlig, fordi denne proces forløber ved en 200-300 °C, og vi skal altså langt højere op, før vi ser methylchloridfrigivelsen. Så vi må ligesom tænke på noget andet. En af mine favoritter, det er virkeligheden lignin.

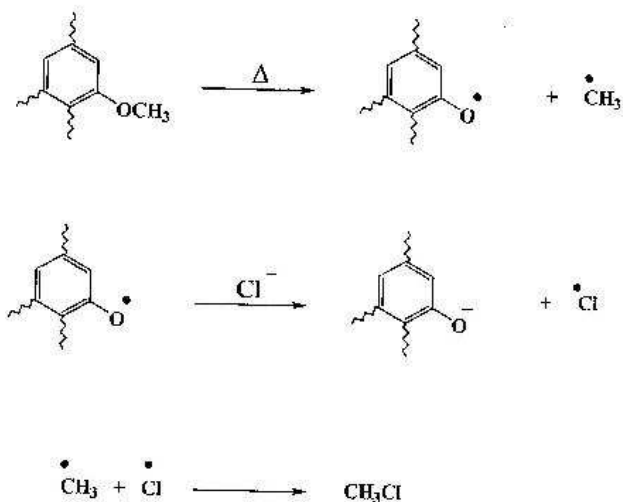
Dannelsesmekanisme for methylchlorid



Figur 73

Det er der meget af. Og så accepterer jeg, at klorbrinten dannes. Så får man simpelthen methylchlorid frigivet direkte fra ligninfraktion, den er absolut realistisk efter min mening. En anden mulighed er faktisk, at man godt kunne forestille sig, at klorid reagerer med ligninen på en lidt speciel måde. Det er så en tretrinsreaktion. Den første, hvor man ligesom spalter metoxygruppen på lignin.

Dannelsesmekanisme for methylchlorid



Figur 74

Det er faktisk noget vi kender utrolig meget til. Det er noget vi har brugt meget tid på i vores del opfølgingsprogrammet. Vi kender kinetikken, og vi ved, at den kemiske proces, den løber hurtigt og effektivt, når vi når op omkring de 600 °C. Det næste trin, er lidt mere intrigant. Den ved vi faktisk ikke så meget om. Men jeg kunne godt forestille mig, at det er den der kører. Den sidste del den er også særlig velkendt. Så måske kunne det være mit bedste bud på methylchloriddannelsen fra biomassen.

Så er vi faktisk allerede fremme ved min konklusion. Den er, at der ved forgasning dannes methylchlorid i overraskende store mængder. Vi kan også glæde os over, at vi ved direkte målinger på røggas, normalt ikke kan påvise methylchlorid overhovedet.

Konklusion

- Der dannes ved forgasning methylchlorid i overraskende store støkiometriske mængder.
- Der vil ved direkte måling på røggasen normalt IKKE kunne påvises methylchlorid.

Figur 75

Der står ikke noget om, om jeg mener methylchlorid er et stort problem eller ej. Det har Bjørn faktisk allerede svaret på i morges. Det var sådan set hans opfattelse, at methylchlorid det ikke er noget stort problem. Det jeg til gengæld måske også mener, det er, at vi skal være opmærksomme på problemet. Være os bevidste, at der faktisk dannes methylchlorid under de processer.

Så til allersidst der har jeg outlook.

Outlook

- Bestemmelse af chlor-balance
- Undersøgelser på flere typer forgasningsanlæg
- Undersøgelser af fordelingen af chlor i flis.

Figur 76

Nu er det efterhånden blevet lidt svært at spå om fremtiden. Men noget af det, som kunne være dejligt, det var hvis vi ligesom kunne få lavet en klorbalance på et passende system. Det er også som sagt meget spændende, hvis vi kunne lave nogle få målinger på forskellige typer forgasningsanlæg. Og endelig så er der det sjove aspekt, at jeg viste jer to kurver dels temperaturforløbet på grønflisen men også på Kaliumklorid. Det er sådan, at den mængde methylchlorid, der dannes fra den samme mængde klor/grønflis som klorid, der er det biologiske system meget mere effektivt. Så på en eller anden måde, så betyder den måde klorid ligger i biomassen altså også en rolle. Vi ved faktisk ikke noget om, hvordan klorid rigtigt fordeler sig i et stykke plantemateriale. Så det kunne altså også være noget af det mere spændende. Den sidste ting jeg kan sige, det er, at som jeg nævnte før, så har jeg prøver fra Peder Stoholm. Når vi laver dem, så er der et andet aspekt i det, vi gerne vil undersøge, og det er, hvad sker der i grunden når man laver en hurtig opvarmning af biomasse. Får man så også methylchlorid ud, og med det vil jeg så gerne sige tak for jeres opmærksomhed.

Ulrik Henriksen: Tak til Helge, er der nogle spørgsmål? Så tror jeg alle har forstået kemien. Vi siger tak.

Oversigt over forgasningsaktiviteter på MEK

ved Ulrik Henriksen, MEK

Ja så vil jeg prøve at give en lille oversigt over vores aktiviteter under biomasseforgasningsgruppen på MEK. Det er sådan en vi har fået lavet. Alle overheadene skal helst være ens:

Oversigt over projekter:

UVE

Videncenter for termisk forgasning og slutkonvertering af biomasse til el og varme.

- Materialeundersøgelse,
- Koksstruktur i koksbeds,
- Partikelrensning,
- Motor,
- Studenterprojekter,
- Support

EFP

Termisk biomasseforgasning

Forgasning af halm i tottrinsforgasseren

Videre undersøgelse af LT-CFB (Samarb. DFBT, Rica-Tec, dk-TEKNIK,)

Optimering af cirkulerende fluid bed forgasningsprocesser til biomasse/halm (Samarb. ReaTech, GEUS, Energi E2, RUC, Ålborg Universitet Esbjerg, NTNU)

Modellering af Strømningsforhold og kanaldannelse i fixed koksbeds (Samarb. COWI)

Modellering af traditionel medstrømsforgasser

Modellering af modstrømsforgasser

Undersøgelse af belægningsdannelse forårsaget af let tjære (Samarb. Risø)

Analyse og karakterisering af motordrift på forgasningsgas (Ph.D. projekt)

Indirekte fyret gasturbine

PSO

500 kW LT-CFB (Samarb. DBFT, Rica-Tec, Tech-wise, dk-TEKNIK)

Storskala trinopdelt forgasning Fase 1. (Samarb. COWI, Volund)

Ristefyring af halm - Fysisk kemiske data til ristemodellering. (Samarb. med CHEC som en del af "Fællesprojektet" med mange flere parter)

Figur 77

Projekterne vil jeg ikke gå igennem helt systematisk fordi nogle af dem bliver omtalt senere i nogle af de efterfølgende præsentationer. Jeg vil prøve lige at gå kort igennem og så vil jeg nævne de ting, som der ikke er en specifik præsentation på. Godt!

Nu havde jeg håbet på, at der var to overheadprojektorer her i dag, så kunne denne der have ligget på den ene i hele tiden, og så kunne jeg have vist andre overheads på den anden. Men sådan er det ikke. Så jeg vil bare nøjes med at sige, at der er altså nogle UVE-projekter under videncentre for termisk forgasning og slutkonvertering af biomasse til el og varme. Og det er en videncentre, som blev etableret for et års tid siden. Så er der vores EFP-projekter nogle af dem er lidt nyere i det. Og endelig nederst her, er der så PSO-aktiviteterne, som vi er med i. Det er altså alle sammen samarbejdsprojekter, hvor andre er projektholder og vi er med.

Jeg vil sådan set starte med at fortælle lidt om aktiviteterne under videncentret, og der var noget med nogle materialeundersøgelser. Der har vi set lidt på forskellige metaller anvendelser til forgasningsanlæg. Det man altid ender med, det er, at man skal bruge MA-253. Det er et godt stål. Det kan holde til mange ting. Høj temperatur osv. Man kan også godt bruge AISI-321. Det er også rimelig. Så har vi arbejdet lidt med nogle kompositmaterialer, hvor vi har taget nogle forholdsvis simple fiberstrukturer og coated dem med aluminiumoxid og det ser faktisk ud til at de er rimelig modstandsdygtige for forgasning i hvert fald et stykke tid.

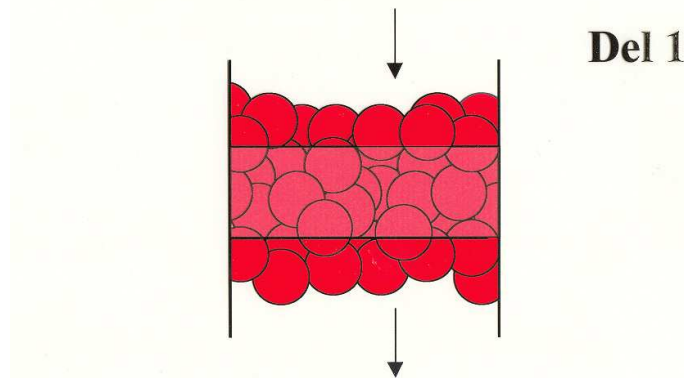
Så har vi arbejdet med partikler og partikelrensning. Der har bl.a. Claus Hindsgaul arbejdet sammen med Helge Egsgård omkring soddannelse og soddannelsesmekanismer, og der foregår eksperimenter på RISØ i øjeblikket. Koksstrukturer, ja koks det kender vi jo. Der har faktisk været arbejdet en del med koksbeds, fixed koksbeds. Der har jeg prøvet at kigge lidt på, hvad tryktabet er, når det nu strømmer ned igennem sådan en koksbed. Der er tit, man har set problemer med, at pludselig så stiger tryktabet, og nogle gange så falder det, og det afhænger af alle mulige ting, som det er sådan lidt svært lige at overskue. Derfor har vi kigget lidt på, hvordan man kan beregne et tryktab ned igennem en koksbed.

Og der har vi så Erguns ligning her:

$$\frac{dp}{dz} = 150 \cdot \mu \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \cdot \frac{1}{d^2} \cdot U + 1,75 \cdot \rho_{\text{gas}} \cdot \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \cdot \frac{1}{d} U^2$$

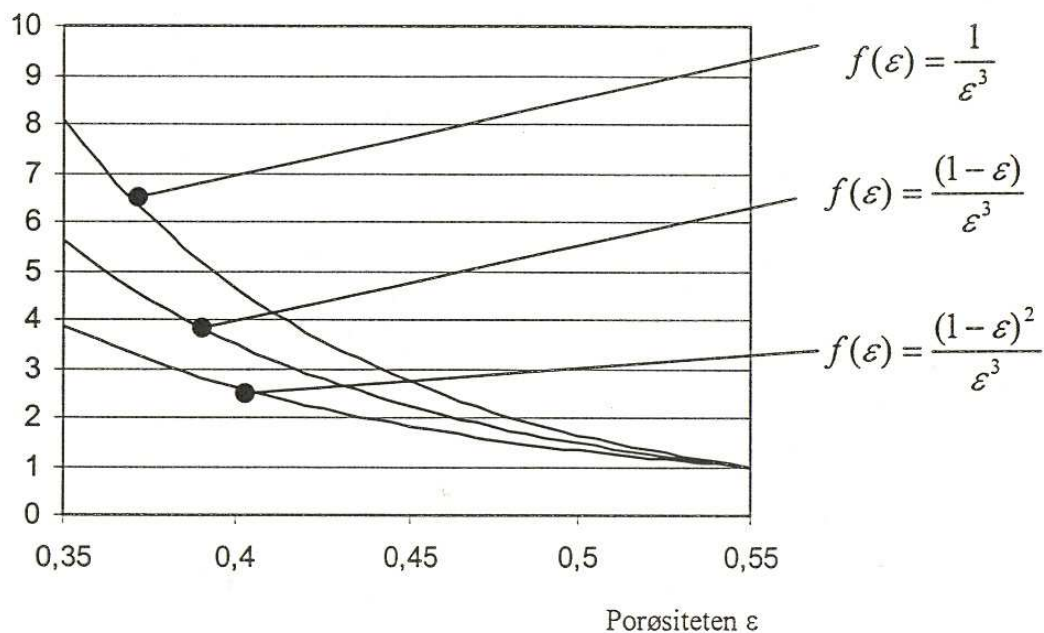
Den fortæller tryktabet pr. længdeenhed som funktion af gashastigheden og så som funktion af hulrumsandelen, porøsiteten og partikeldiameter:

Forenklede teoretiske betragtninger vedrørende tryktab og koksstruktur i fixed-bed forgasningsreaktorer.

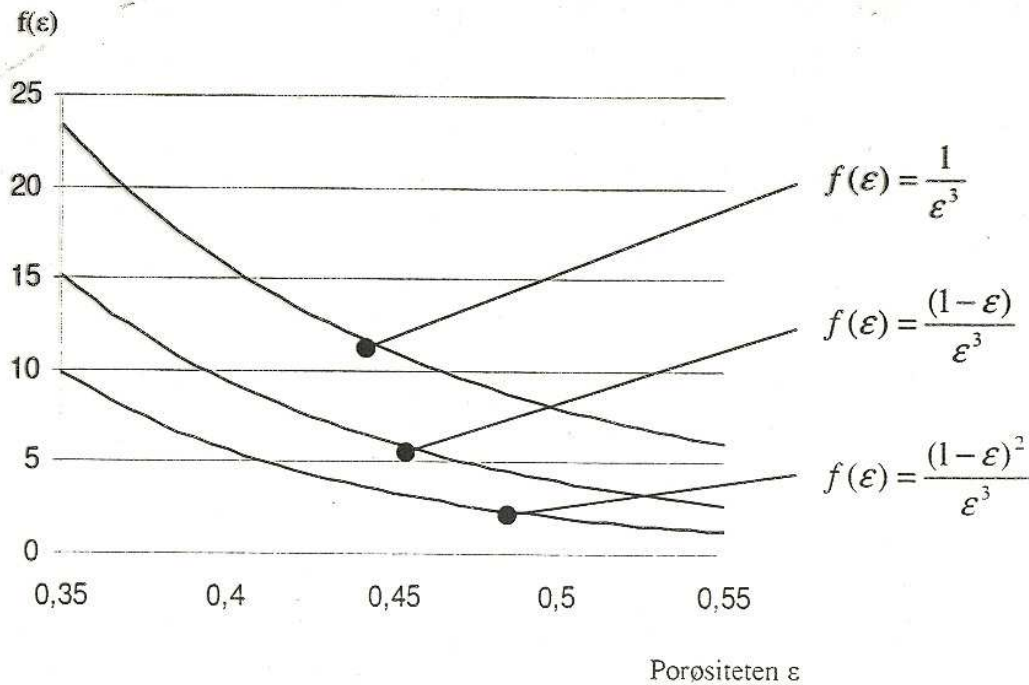


Figur 78

Der kan man se, at jo mindre partikler man har, jo større tryktab får man pr. længdeenhed. Både i det dynamiske led og i det led herinde, der er et viskøst led. Man kan også se, at porøsiteten/hulrumsandelen har de her to udtryk, og hvordan de i virkeligheden ser ud, når man får dem tegnet op. Jo de ser sådan her ud.



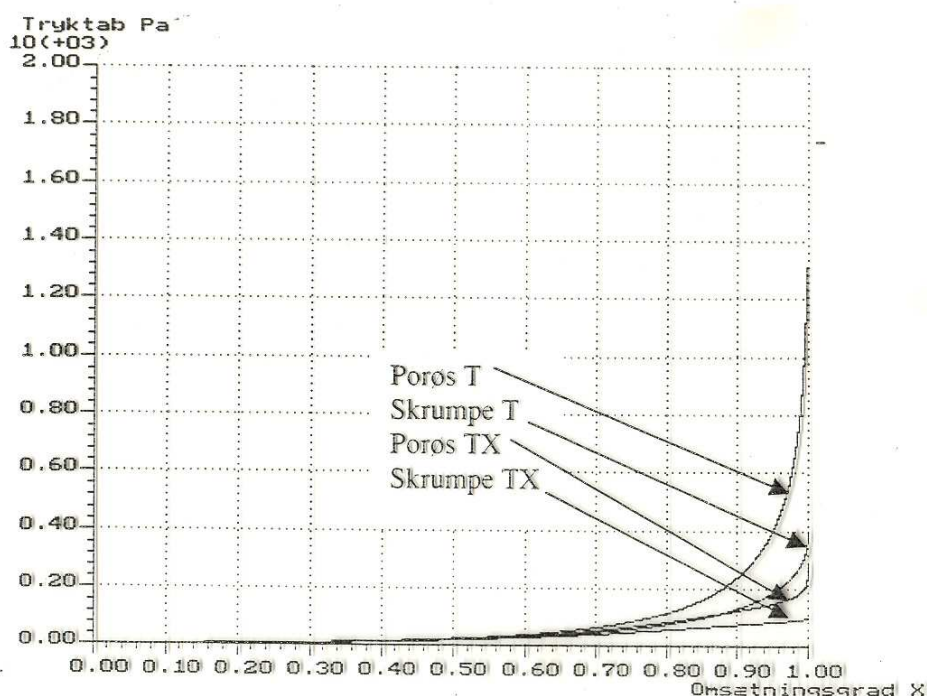
Figur 79



Figur 80

Der kan vi se, at tryktabet vokser voldsomt med faldende porøsitet. Her ligger vi med 0,55-0,35 det kunne være et område, hvor man kunne arbejde i indenfor en forgasser. Hvis vi nu tager og nummerer disse udtryk med deres værdi ved porøsiteten 0,55, så får man så, at man kan se en, at med en faktor 4 til en faktor 8 ændrer tryktabet sig med porøsiteten i dette område. Dvs., at hvis man f.eks. får lagt nogle små partikler ind i mellem nogle store partikler, så får man en mindre hulrumsandel og derfor en voldsom tryktabsstigning.

Så prøvede jeg at stille en forholdsvis simpel koksbed model op med stationære tilstande, hvor man har strømmingen ned igennem en koksbed bestående af kugler. Så kan man så sige, hvordan ændrer kuglernes størrelse sig så? Ja man kan vælge at sige, at det er en skrumpemodel. Kuglerne skrumper med omsætningsgraden. Det bliver mindre og mindre, så lang tid de omsættes på overfladen. Man kan også sige, at kuglerne bevarer deres geometri, de bliver bare mere og mere porøse, fordi forgasningen foregår overalt i materialet. Det kan man så sætte ind i en model af en koksbed, og der er så fire forskellige modeller her på denne kurve.



Figur 81

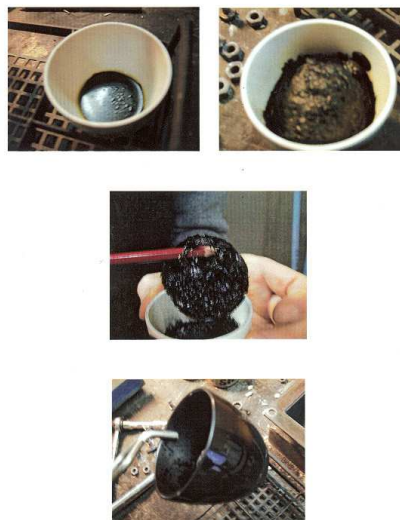
Der er en med porøse partikkelmodeller og så er der den der hedder T, det betyder, at den kun er temperaturafhængig. Når der står TX betyder det, at den både er temperaturafhængig og afhængig af omsætningsgraden. Dvs, hvis reaktiviteten stiger, når partiklerne bliver mere og mere omsat. Der ses så tydelig her tryktabet som funktion af omsætningsgraden, dvs. ned igennem reaktoren. Der stiger tryktabet ned imod bunden af reaktoren voldsomt. Specielt selvfølgelig for nogle af dem. Det er meget skægt at se, at det faktisk er skrumpemodellen, som godt nok laver mindre og mindre partikler, men hvor omsætningen vokser med omsætningsgraden, der har man den mindste tryktabsstigning ned mod asken. Det har man med de andre. Og det her det forklarer sådan set også, hvorfor de her medstrømsforgassere har så godt af lige og køre lidt med risten engang imellem, når tryktabet bliver for stort. Fordi hvis man ikke omsætter til 100% men kun til 90%, så får man en meget mindre tryktabsstigning. Det var lidt om tryktab.

Så stod der på listen, som ikke er der, lidt om motorer. Det vil Jesper Ahrenfeldt tale lidt om, om lidt. Så har vi nogle studerende. Dem har vi i og for sig en del fornøjelse af. For det første, så er de jo billige, de tjener jo ikke noget i løn. De skal have lidt frokost, men så arbejder de jo sådan set meget godt. Og så er der en stor fordel til med studenterprojekter, og det er, at man kan sætte i gang, lige hvad man vil. Man kan simpelthen sætte de studerende i gang, eller engagere dem til at få gode ideer i retning af, hvad man vil. Projektforslagene til studenterprojekter skal ikke først igennem forskellige udvalg, der er bemandede med eksperter, smagsdommere og deslige. Næh man kan sætte lige nøjagtig de aktiviteter i gang, som rent faktisk er interessante. Det er også derfor, det Henrik han sagde, der har han ikke helt ret, det der med, at den nye regering skulle sættes af. Ja ok. Der er altså nogle af de aspekter, i det de siger, der ikke

er så dumt endda. Det kunne godt være vi skulle prøve og vride og vende den lidt og så få det bedst mulige ud af det. Det jeg måske ville foretrække, det var, at den nye regering i stedet for at arbejde sammen med Dansk Folkeparti, måske kunne få et flertal sammen med Socialdemokratiet. Det var måske ikke så tosset endda.

Nå, men det er jo ikke det, vi skal tale om i dag. De her studenterprojekter, der har Felicia Fock og Kirstine Thomsen lavet et projekt, for 1½-2 år siden, der gik ud på systemstudier, pyrolyse og nogle eksperimenter med en lille forgasser, der hedder en hvirvelsstrømsforgasser. Det projekt, det har så haft nogle aflæggere. Både indenfor systemstudierne, indenfor pyrolyse og indenfor denne her hvirvelsstrømsforgasser. Et andet systemstudie vi har haft, det er omkring kobling af en stirlingmotor til en modstrømsforgasser. Det viste Bjørn en lille smule om. Det er der faktisk blevet regnet en hel del på. Under det projekt, som også helst skulle indeholde lidt eksperimentelt, der blev der lavet lidt om den tunge tjæres opførsel, når den blev varmet op i en digel i en ovn, hvor man kan se den her berømte flødebolleffekt, som vi har talt om i så mange år. Her er der så et billede af flødebolleffekten.

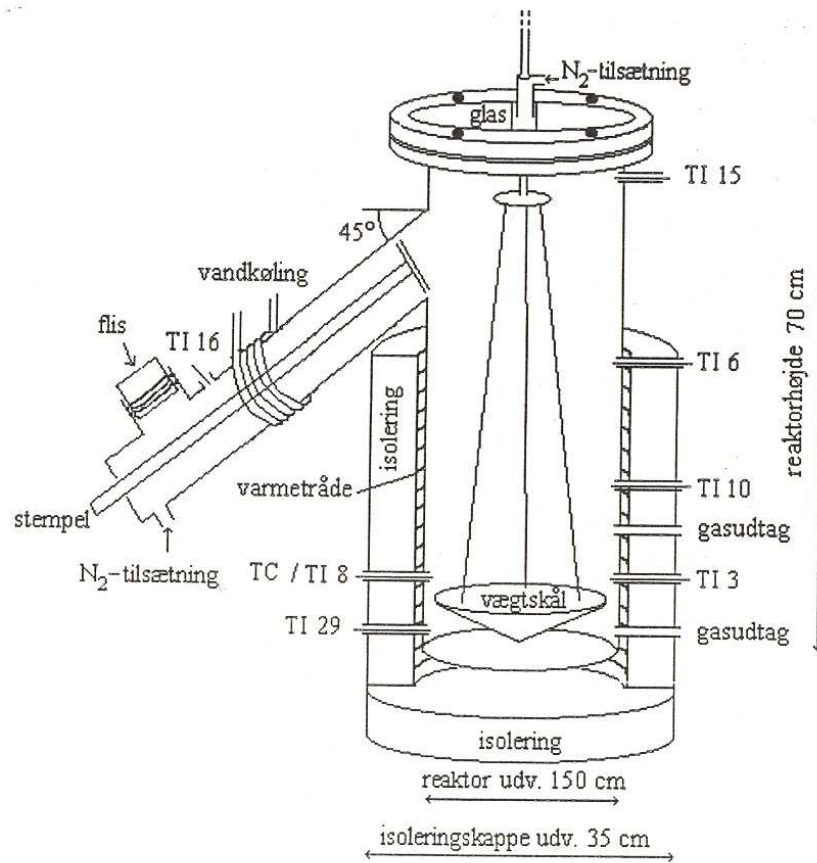
Tjæreforsøg



"Forgasser til stirlingmotor", 12. marts 2002
Nina Jensen og Jesper Werling

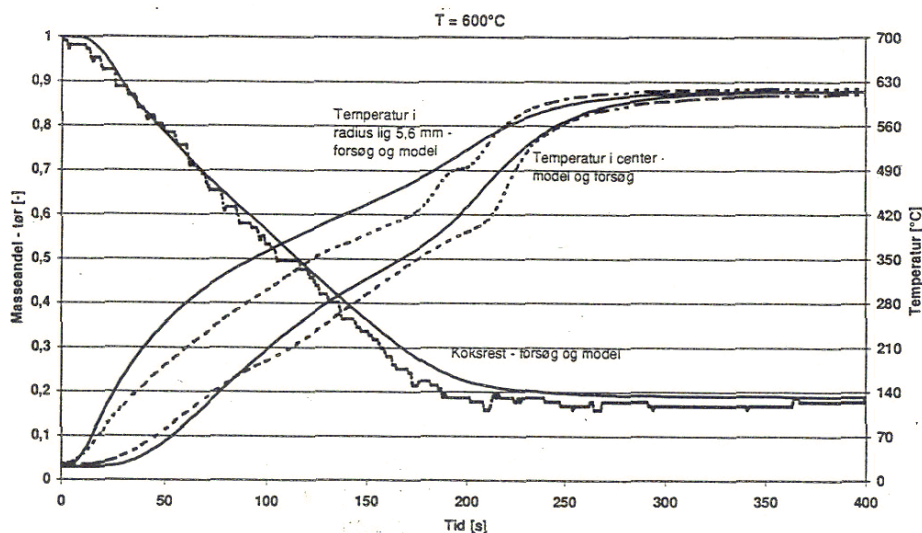
Figur 82

Der kommer en lille smule tjære ned i bunden af en digel, så varmer man den op i en ovn. Og wuff, så bliver den meget meget større end tjæren var og bliver til en flødebolle og vejer næsten ingenting. Den vejer kun 5% af, hvad tjæren vejer. Den fylder 10 gange mere. Der er sådan en flødebolle på en blyant, og der kan man se digelen, den har faktisk taget lidt farve af det. Og det fortæller lidt om, at hvis man kører tjæren ind igennem sådan et opvarmet område, så kan det altså godt være, at det stopper til. Det der det er sådan et apparat, der blev lavet også under det førømtalte eksamensprojekt.

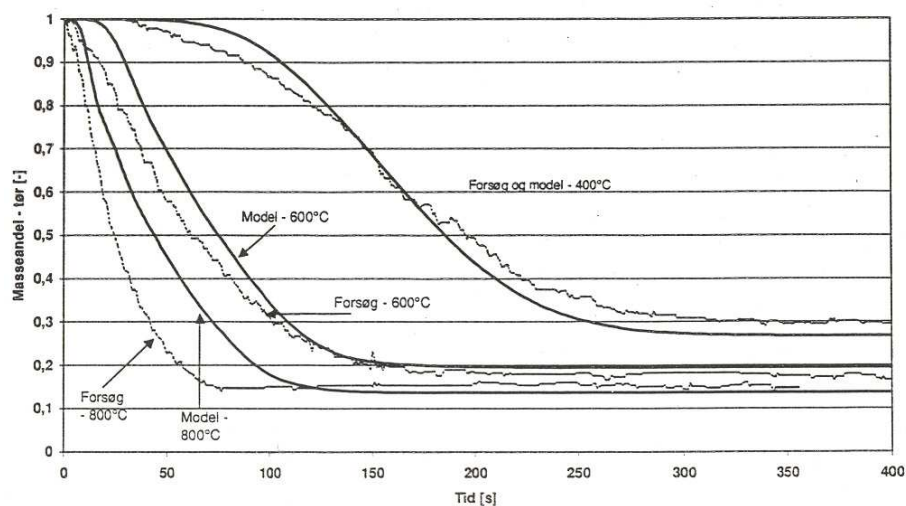


Figur 83

Hvor man sætter en vægtskål ind i en ovn, og så kan man kaste materialet ned på vægtskålen f.eks. flis. Når man så har varmet ovnen op på forhånd, så kan man jo faktisk se, hvor hurtigt flisen taber sin vægt. Dvs., man kan måle pyrolysetiden, hvis man kommer flis ind i en varm reaktor. Det har et efterfølgende eksamensprojekt så set lidt på. Samtidig med det har man faktisk opstillet en matematisk model af pyrolyse. Her har vi så vægttabet af et lille cylinderstykke materiale, der er kastet ind på ovnen. Målt og beregnet efter model. De to andre kurver, der ser sjove ud, det er temperaturen i centrum, og så temperaturen på overfladen af dette her stykke træ. Der kan man se, at både faconen og i øvrigt også størrelsen, der er der god overensstemmelse mellem model og eksperiment.



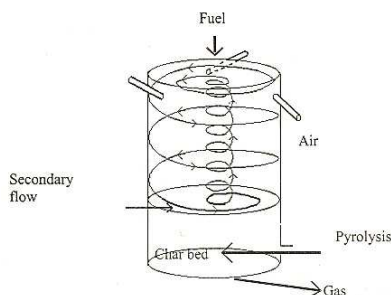
Figur 84



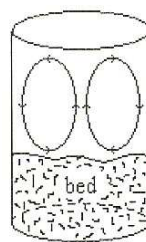
Figur 85

Den stiplede er modellen og den fuldptrukne er eksperimentet. Det man skal huske i denne her sammenhæng, det er, at der er altså en hel række ting, der har indflydelse på en sådan pyrolyse. Det her, det er så for et stykke flis ved forskellige temperaturer. Ved høj temperatur, der er der størst uoverensstemmelse mellem beregningen og eksperimentet. Men det er altså med dette værktøj nogenlunde muligt at regne ud, hvor lang tid sådan et stykke flis skal have før det er pyrolyseret. Det der viser sig, det er, at der altså er tre ting, der har afgørende indflydelse. Den ene ting, det er varmeovergangen fra omgivelserne og hen til flisen. Den anden ting, det er varmetransporten ind igennem flisen. Den tredje ting, det er faktisk kinetikken af de kemiske reaktioner. Alle tre ting har faktisk indflydelse. Jeg havde håbet på, at der kun var en ting, der havde indflydelse, og at de andre var negligeable, men det er de altså ikke. Det man så kan gøre, det er, at man kan tage ved andre varmeovergangsbetingelser og så sætte de to andre aspekter af modellen ind. Og det er det vi gør med et tredje

eksamensprojekt, som kører i øjeblikket. Så er der den der hvirvelsstrømsforgasser. Det er en forgasser, som jeg opfandt for et par år siden. Den er vældig snedig. Det er sådan en tottrinsforgasser i et trin og den består i, at man lægger en hvirvel ind ovre i brændselsbedden. Man kaster bare flisen ind og så lægger man en hvirvel ind ved tangentiell indblæsning af luften og får så en tornado i midten, der suger pyrolysegasserne op fra grænselaget hernede i den øverste del af flisen, får det ud til dyserne og får en delvis afbrænding.



Figur 86



Figur 87

Og det blev prøvet i en simuleret version, dels med røgeksp eksperimenter, men også i en simuleret version af vores tottrinsforgasser, hvor vi bare slukkede for pyrolyseenheden. Og der virkede det sådan set meget godt for et år siden. Så har vi nu bygget en, der blev afprøvet i går under et eksamensprojekt. Den kørte ikke lige med det samme. Den kørte meget stabil og sådan noget, men der var lige lidt tjære i gassen. Det var jo ikke meningen, at der skulle være det. Men det går vi lidt videre med.

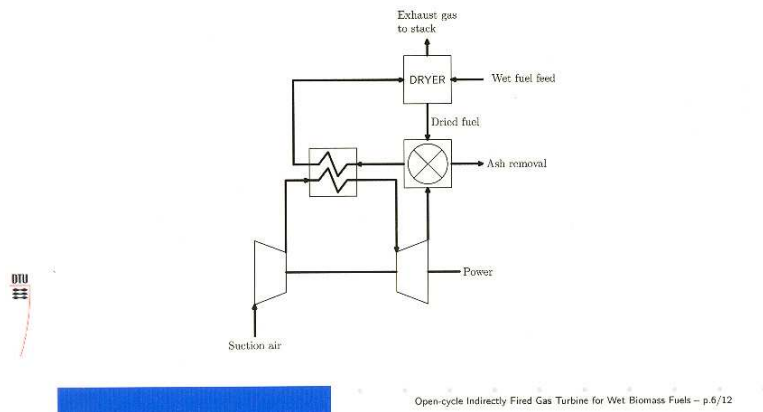
Det var studenterprojekterne, så er der lige et par studenterprojekter, som jeg sådan set ikke vil tale mere om. Og det er dem, der har med LTCFB'en at gøre. Det er Lene, Lasse og Rasmus, der har arbejdet med det. Og det synes jeg vel nok man må sige, at det har Stoholm talt rigeligt om. Så har vi også en studerende, som hedder Lars, der arbejder på systemstudie af en opskalleret tottrinsforgasser.

Så har vi vores EFP-projekter. Der er der nogle ældre nogle, der hedder termisk biomasseforgasning, der er ved at være afsluttet. Under dem har vi arbejdet med måling af tjære-reduktion forskellige steder i tottrinsforgasseren, og det er publiceret. Det vi har gjort på det sidste, det er, at vi har sammenlignet forskellige additiver til halms indflydelse på reaktiviteten og på sintringen. Noget i stil med det Lasse Holst talte om før. Det har vi blandt andet gjort i samarbejde med Teknologisk Institut, hvor Lars Nikolajsen har et projekt kørende med forskellige sammenblandinger af biomasse og additiver. Og der har vi prøvet at skanne sådan en hel masse tilsætninger, og det er ganske interessant. Man kan virkelig få det resultat, man gerne vil have.

Forgasning af halm, det vil Jens Dall Bentzen fortælle lidt om senere.

Så har vi arbejdet lidt med indirekte fyrede gasturbiner. Det er Brian Elmegaard, der arbejder med det. Der er specielt indirekte fyrede gasturbiner i forbindelse med tørring, koblet til en tørrer, kaldet en WET. Hvor man kobler en tørreenhed til sådan en gasturbine her. Gasturbinen er altså indirekte fyret. Dvs. der er ikke nogle forbrændingsprodukter, der kommer i kontakt med skovlblade og sådan noget.

"Wet IFGT" – Fuel Drying



Figur 88

Og hvis man tørre biomassen i den kombination, så kan man faktisk få en utrolig høj virkningsgrad, faktisk højere end den virkningsgrad, som Thomas kunne få fra den der kombinerede gasmotor og dampmaskine. Faktisk højere Thomas! Man kan faktisk få den virkningsgrad man vil have, det kommer bare an på, hvordan man definerer sin virkningsgrad, så kan man jo få den så høj, som man vil have den. Og det man gør med den her tørrende indirekte gasturbine, det er, at man siger, at hvis det er på nedre brændværdi, så kan man faktisk få 80% el-virkningsgrad på sådan en.

Wet IFGT Efficiency

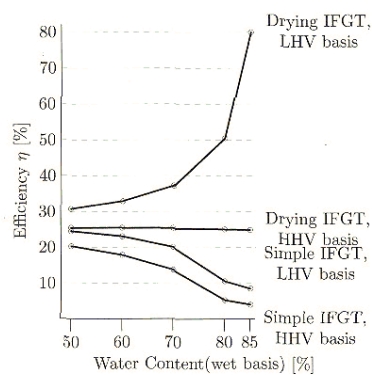
Very high efficiency for low value/cost fuel (Household/Industrial sludges, manure)

Maximum fuel water content 83%.

Drying to 10% water content

$TIT = 590^{\circ}\text{C}$,
 $T_{max} = 700^{\circ}\text{C}$

$PR \approx 3.5$



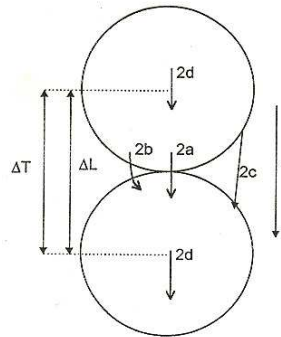
Figur 89

Thomas Koch: Ved 12,3% tørstof, der er den jo uendelig stor.

Ulrik Henriksen: Ja det er lige nøjagtig rigtig, der er den uendelig stor, men det synes jeg alligevel ikke jeg vil sige Thomas. Det overlader jeg til dig. Hvis man regner på øvre brændværdi, så ligger den altså ganske pænt her i midten af 20'erne af sådan en at være. Sammenligner man med de ikke tørrende, altså hvor man ikke har kombineret den

med tørreindhold, så er det klart så falder både øvre og nedre brændværdi-virkningsgraden ganske voldsomt når fugtindholdet stiger.

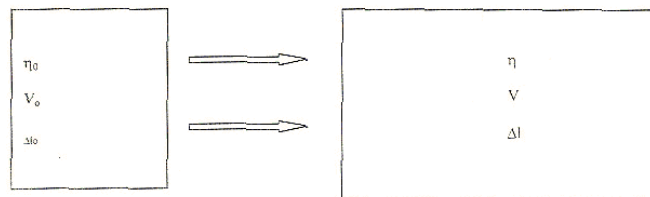
Så har vi et samarbejdsprojekt med CHEC. Det vil sige vi samarbejder om en delopgave, af et større projekt under fællesprojektet. Det går ud på at bestemme den tilsyneladende varmeledningsevne i en halmbed sigtende på, hvad der foregår under ristefyring af halm. Der har vi taget udgangspunkt i noget arbejde vi har lavet tidligere, hvor man ser på varmetransporten i sådan en bed. Der bruger vi noget der hedder Yagi og Kuniis varmetransport model.



Figur 90

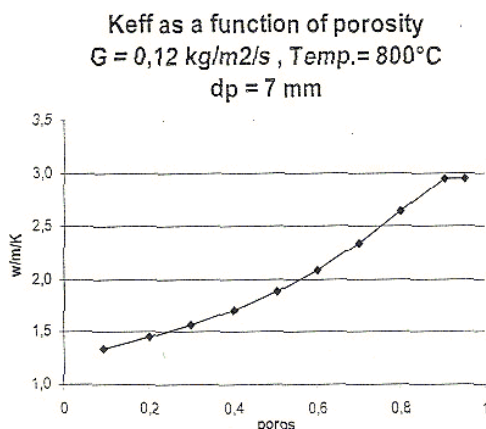
Og det er, hvis man har to partikler her, der ligger i en bed, sammen med en hel masse andre partikler, så er der så noget varmetransport igennem partiklerne, der er noget varmeledning i kontaktpunktet, der er noget varmeledning i grænselaget, der er noget stråling fra partikel til partikel, og så endelig er der noget varmetransport på tværs imellem partiklerne i den omgivne gas. Man kan ikke bare direkte bruge den model i en halmbed, for en halmbed den er ikke sådan pakket. En halmbed er ikke et klassisk tilfælde af sådan en pakket bed. Man bliver nødt til at opstille en model af sådan en halmbed også. Det har vi så set på. Hvis vi tager som udgangspunkt og siger, at halmen er pakket efter en eller anden pakning. Så kan man så der definere sin porøsitet og sin karakteristiske længde mellem halmstråene i en sådan pakning. Så kan man så lade den ekspandere til, hvad den er, når den ligger på risten og så regne ud, hvad størrelserne så bliver med udgangspunkt i det de var.

Bed model



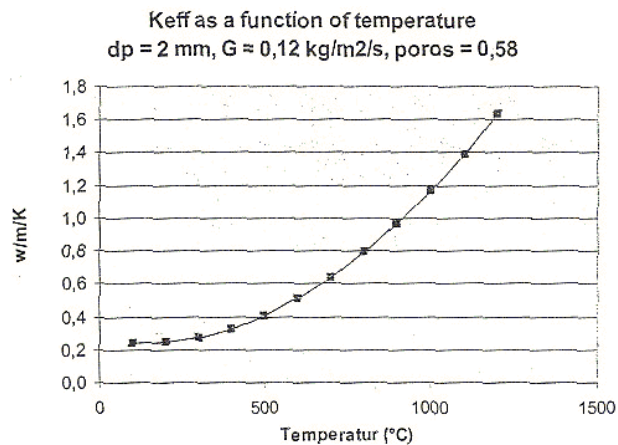
Figur 91

Når man laver det og kobler det med Yagi og Kuniis model, så får man faktisk pludselig, at varmeledningsevnen ændrer sig, som man observerer ved eksperimenter. Altså f.eks. at varmeledningsevnen den stiger, med stigende porøsitet.



Figur 92

Under alle omstændigheder får man at varmeledningsevnen stiger med temperaturen, som man jo nok ville forvente.



Figur 93

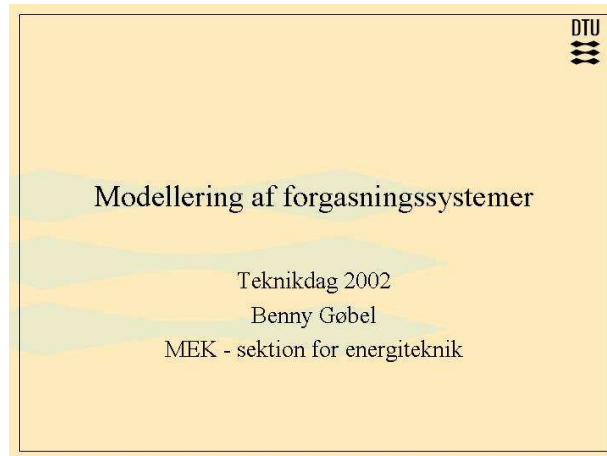
Men det arbejder vi så også på. Ja vi laver sikkert også flere ting, lad mig se engang. Belægningsdannelse – vi arbejder med et projekt der omhandler belægningsdannelse i motorer, hvor de bliver udsat for lette tjærestoffer. Det er et projekt vi har sammen med Helge Egsgaard og RISØ, og det er ved at være slut. Det har givet interessante resultater. Eksempelvis om hvilke belægninger man får, når man f.eks. tilsætter phenoler og guaiacoler til gassen i en forbrændingsmotor. Der er lavet laboratorieforsøg på RISØ, og vi har lavet nogle eksperimenter, hvor vi har kørt disse tjærestoffer ind i en rigtig motor. Det bliver rapporteret inden ret længe tror jeg nok. Så har vi nogle modelleringsaktiviteter. Det vil der blive talt videre om siden hen. Og så har vi et projekt om storskala tottrinsforgasning. Det er et projekt, som er blevet nævnt i forbindelse med Teislev fremstilling, og det går i alt sin enkelthed ud på, som Teislev viste, at skalere en tottrinsforgasser op i større og fluid bed baseret version i kraftværksstørrelse. Og så bevare de gode ting, det der med ingen tjære, det er så godt.

Ja, så nævner jeg lige, at vi deltager i et internationalt forgasningsnetværk, der hedder Gasnet. Benny Gøbel er vores repræsentant der. Så vil jeg også lige nævne Viking det er sådan en tottrinsforgasser på 70 kW, som vi har bygget på nogle år, og som vi nu har fået startet. Den har faktisk også kørt ganske udmærket. Det vil jeg fortælle om siden hen. Desværre er der nogle enkelte problemer med den i øjeblikket, så den kører ikke lige på stedet. Så vil jeg vise til sidst her i min præsentation vores publikationsliste, som kan findes på vores hjemmeside på den adresse der står deroppe. Det er Halmfortets hjemmeside og der så nogle publikationer. Det der er sjovt at se, det er, at ud for hver publikation, der er sådan et klik/link. Så kan man trykke på den og hvis det så er en publikation, som vi selv har rettighederne til, så dukker den op i sådan en pdf-fil, og så kan man læse den eller printe den ud. Så behøver man ikke engang at ringe til mig og spørge om man kan få den. Der, hvor vi ikke har rettighederne til det, dvs. hvis det er nogle af de der amerikanske dominerede tidsskrifter og sådan noget. Så linker man over til, hvor man kan bestille den hjem og betale penge for den. Der vil jeg bare sige, at der er nogle af rapporterne man bare kan ringe til mig alligevel og få tilsendt. Hvis man nu ikke lige synes det er sjovt det der med at printe rapporter ud. Det kan man sagtens. Jeg har altid trykt dem i rigelig antal. Her er der f.eks. to af dem.

Ja det var, hvad jeg havde valgt at sige under oversigten. Er der nogle spørgsmål? Det var der ikke.. Ja så skal vi videre til den næste, og det er modelleringsaktiviteterne.

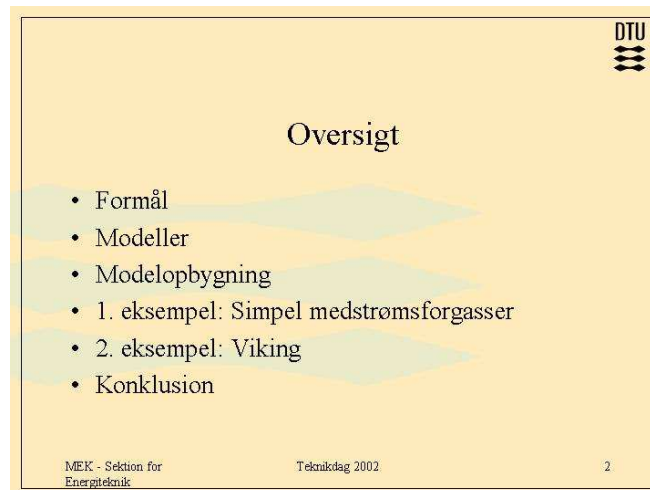
Modellering af forgasningssystemer

ved Benny Gøbel, MEK



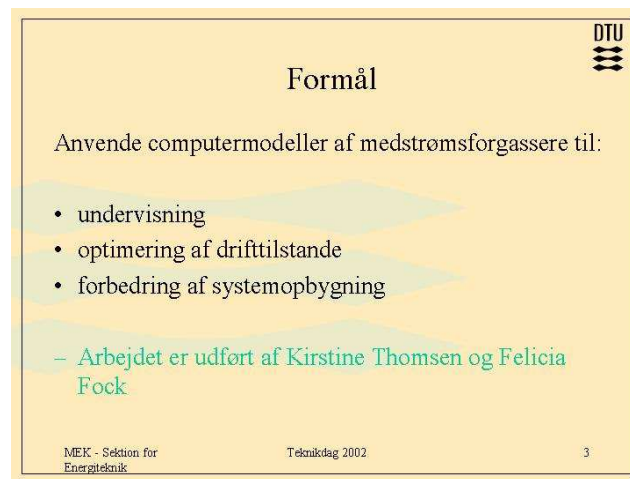
Figur 94

Tak for det. Jeg vil fortælle lidt om vores modelleringsaktiviteter, og det bliver om systemmodeller. Vi har efterhånden en forholdsvis lang tradition med at lave modeller nede ved os.



Figur 95

Jeg vil så præsentere et stykke arbejde, som et par studerende har lavet for os. Og det er systemmodeller på medstrømsforgassere. Det jeg vil vise jer i dag, det er noget der er modelleret op i EES (Engineering Equation Solver). Det er lavet med sådan en dejlig behagelig brugerflade. Der har været afholdt kursus i det, som nogle af de tilstedeværende har været med i. Formålet med at lave de her systemmodeller var at kunne lave noget undervisning. Være lidt udadvendt.



DTU

Formål

Anvende computermodeller af medstrømsforgassere til:

- undervisning
- optimering af drifttilstande
- forbedring af systemopbygning

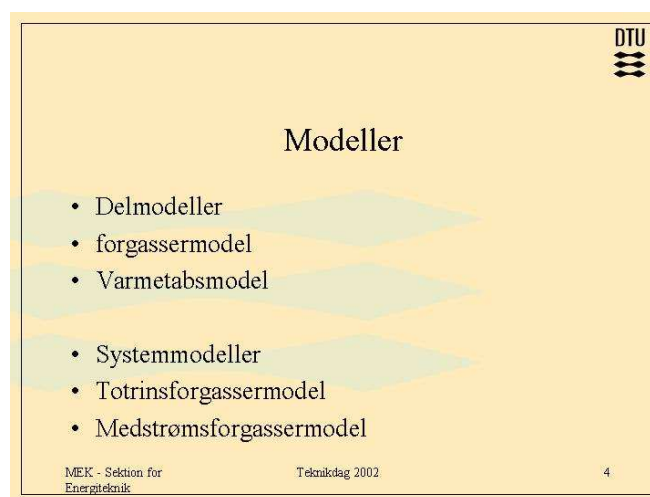
– Arbejdet er udført af Kirstine Thomsen og Felicia Fock

MEK - Sektion for Energiteknik Teknikdag 2002 3

Figur 96

Folk kunne prøve at bruge nogle enkelte modeller, sætte dem sammen i nogle systemmodeller og få forståelse af, hvad det er, man kan bruge dem til, og nogen vil nok også sige, hvad man ikke kan bruge dem til. Der vil altid være nogle, der skal ud i hjørnerne.

Man kan også bruge det til, det vi tit gør, optimering af driftstilstande. Navnlig en forbedring af det fysiske system, man bygger op. Vi har brugt det, da vi dimensionerede Viking, hvordan vi skulle sætte varmevekslere, og hvordan energistrømmene var. Arbejdet det er så udført af Kirstine Thomsen og Felicia Fock, som lavede det som eksamensprojekt og så også lavede det efterfølgende kursus. Der blev lavet nogle modeller. Først nogle delmodeller. Et hvor der er en forgassermodel, hvor man f.eks. ser på selve forgasseren og regner på den. Den vil jeg komme tilbage til, vise eksempel på, hvad den kan.



DTU

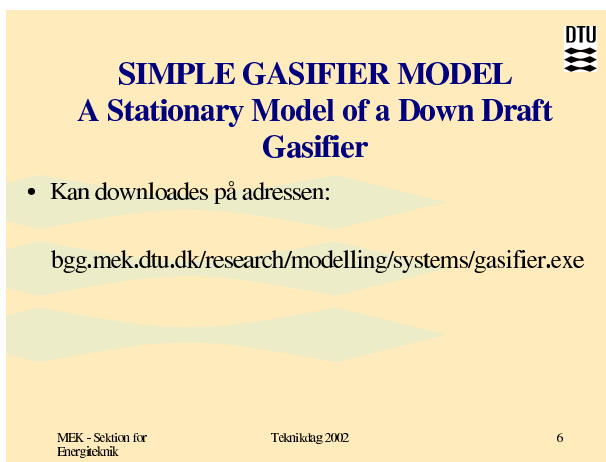
Modeller

- Delmodeller
 - forgassermodel
 - Varmetabsmodel
- Systemmodeller
 - Totrinsforgassermodel
 - Medstrømsforgassermodel

MEK - Sektion for Energiteknik Teknikdag 2002 4

Figur 97

Så lavede de en varmetabsmodel, hvor man kunne styre sit varmetab med forskellige isoleringstykkelser og sådan noget. Så blev der lavet systemmodeller, og der blev afprøvet fire forskellige her. En tottrinsforgassermodel, og en medstrømsforgassermodel og en Open Core, og så endelig så har de så bygget en Vikingmodel op også. Lidt reklame inden vi går i gang. Den er blevet lagt ud på nettet, så man kan gå ud og hente den på denne her adresse: <http://bgg.mek.dtu.dk/research/modelling/systems/gasifier.exe> Det er godt nok en lang adresse, den kommer i referatet, så kan man finde den der. Den ligger også inde på vores hjemmeside.



Figur 98

Referatet kommer også ud på hjemmesiden, så kan man jo...

Men bottom up. Denne her simple forgassermodel som jeg vil vise, den kan man downloade, og så kan man sidde og prøve det, som jeg vil vise nu, og forhåbentlig få lidt forstand af det og få lidt blod på tanden. Hvis man får meget blod på tanden, kunne jeg da ikke afvise, at vi lavede et kursus igen for interesserede folk. Så jeg vil prøve at se, om jeg kan give lidt blod på tanden. Her ser vi den simple forgassermodel. Den man starter med, og det er den man kan downloade. Selve forgasningssystemet er her, forgasseren har vi her, og man indfører noget brændsel heroppe. Det her er så flis og så kan man så tilsætte damp og luft, og man sætter et varmetab. Får noget gas ud. Man har så bestemt hvilken temperatur, man vil køre sin forgasser med. Samtidigt definerer man også hvilket tab man har i form af kulstof, som jo er typisk for medstrømsforgassere. De her små firkanter her, det er de værdier man kan gå ind og ændre og så regner modellen for en, når man så har ændret værdierne. Det er jo først noget med, hvad er det for et brændsel man bruger. Man taster, hvor meget fugtindholdet er, og hvordan den kemiske sammensætning er.

Så har vi, hvor meget brændsel, man tilsætter heroppe, den tørre brændsel, og hvor meget damp man vil tilsætte. Går man videre ned, får man så resultatet af den gassammensætning, der er i gassen, der kommer ud af forgasseren. Og endelig så er der lavet en energibalance. Man får beregnet sin brændværdi og sin koldgaseffektivitet, som det system der nu er her. Jeg vil lige vise et par eksempler på, hvad den kan, hvis man nu her går ind og forvarmer sit brændsel til 25 °C og beder den om at regne.

Her ser vi så, at der er brugt noget energi til at forvarme brændslet. Det er referencetilfældet, det vi havde lige før, det er lidt nemmere at sammenligne. Vi fik den til at regne. Vi ser, at nu kommer der noget energi til forvarmning her, som ikke var her. Vi kan se på vores brændværdi, den er gået op til 5700, hvor den før var 4900. Koldgaseffektiviteten er også gået op fra 72%-80%. Det var så den for tørrede brændsel her.

Så kunne man også sige, hvad der er et typisk problem netop ved medstrømsforgassere. Og det er, at vi ikke har så meget styr på vores kulstofstab. Tryktabet er blevet for stort. Og vi smider en masse kul ud, og hvad betyder det så? Det vil jo så betyde, at vi smed en masse energi ud. Ser vi nede i energibalancen, så har vi tabt noget der, med koks ud. Det er nu 53 kW, hvor den før var nede på 17 kW. Vi ser også at koldgaseffektiviteten som vi havde herovre, den er også faldet. Og der er så simpelthen det, at vi har tabt noget energi, noget koks er ikke blevet omsat. Taget ud af forgasseren og gassammensætningen der ændrer den sig en lille bitte smule. Men ikke af betydning.

Hvis vi siger, vi isolerer vores forgasser. Det er jo også en mulighed. Så i stedet for at 3% så er den så 1,5%. Så ser vi så naturligvis at varmetabet falder til 15% og dermed kun 15 kW. Jeg skal lige sige, at udgangspunktet for denne model, det er en 1 MW forgasser, men det vælger man altså selv. Vi ser samtidig også, at da varmetabet er faldet, så skal vi have mindre luft til processen, for at holde de her 800 °C, den er nu nede på 375 kg/time, hvor den før var 390 kg/time. Det vil så også give lidt mere CO og mindre CO₂, fordi vi har mindre luft ind, vi brænder mindre af gasserne af og får lidt bedre brændværdi. Den er nu oppe på 5 MJ/Nm³, hvor den før var 4,9 MJ/Nm³. Koldgaseffektiviteten er blevet forbedret en lille smule simpelthen ved at isolere forgasseren.

Et sidste eksempel. Jeg vil prøve at se, hvad der sker, når der kommer en portion våd flis ind. Vi ser så også, at nu har vi fået mere fugtig flis ind. Vi skal tilsætte mere luft, for at holde de her 800°C i bunden. Mere luft, går ind og oxiderer nogle CO'ere til CO₂'ere. Noget brint får vi lavet om til noget vanddamp og dermed lavere brændværdi og lavere koldgaseffektivitet. Så et meget simpelt værktøj, som jo kunne downloades, så man kunne sidde og lege med forgassere, sige hvad sker der, hvis mit system nu ser sådan her ud, eller jeg nu har det her system og går over og bruger et andet brændsel end det jeg egentlig havde forventet.

Et sidste kort eksempel på systemmodeller. Med udgangspunkt i, hvordan det her er bygget, har vi så bygget en systemmodel med Viking forgasseren. Det er så en meget stor model, der er blevet bygget af de to piger her, hvor de så har taget hele systemet ind. Modellen er Viking, som vi skal ned og se senere i dag, dem som har lyst. Så har vi så forud lavet en masse beregninger på, hvordan dette system nu skal bygges op. Først massestrømmene – trykker man på massestrømsknappen. Så ser vi så beregninger for hele systemet, hvordan massestrømmene nu kører rundt med den konfiguration, vi nu har valgt. Så trykker man på det lille vindue, så kommer man tilbage igen. Så kan man så prøve med temperaturerne f.eks. så kan man se, hvordan temperaturerne vil være rundt i systemet. Specielt i forhold til, hvordan vi har sat vores varmevekslersystem op. Går vi tilbage igen, før vi skal tage det sidste, det kunne være motoren f.eks. der kan vi så se den motoropsætning, vi har her, hvordan det går med den gas, der kommer ind. Vi

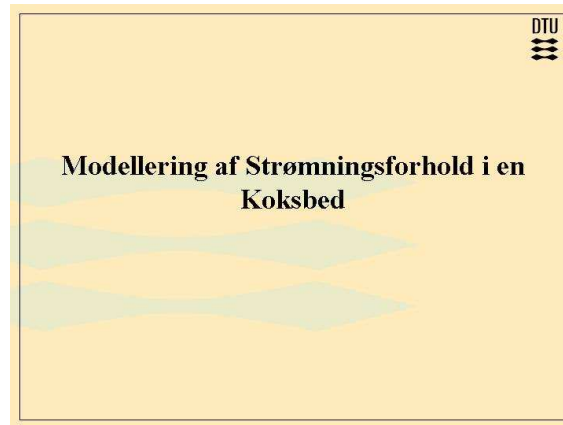
har beregnet, hvordan gassen er sammensat, brændværdi, og masse og så tilført luft, og så ser man så på, hvordan motoren nu udnytter det.

Det var så et eksempel på en ret avanceret model. Det er så lavet i EES, med behagelig brugerflade, som er lidt nyt i forhold til, hvad vi plejer at gøre. Det var hvad jeg gerne ville sige om systemmodeller og det stykke arbejde, der er lavet her. Så vil Torben komme og fortælle om bedmodeller med koksbedden.

Ulrik Henriksen: Vi siger tak til Benny, skal vi tage Torben nu så? Torben du fortæller lidt om koksbed modellering og strømningsfelt i koksbed, og det er jo nogle aktiviteter vi har sammen med COWI.

Modellering af Strømningsforhold i en Koksbed

ved Torben Kvist Jensen, MEK



Figur 99

Jeg vil fortælle om et modelleringsprojekt, som vi har sammen med COWI, hvor vi har lavet nogle simple modeller. Så vil Simon lidt senere, fortælle om de lidt mere avancerede modeller, de har lavet.



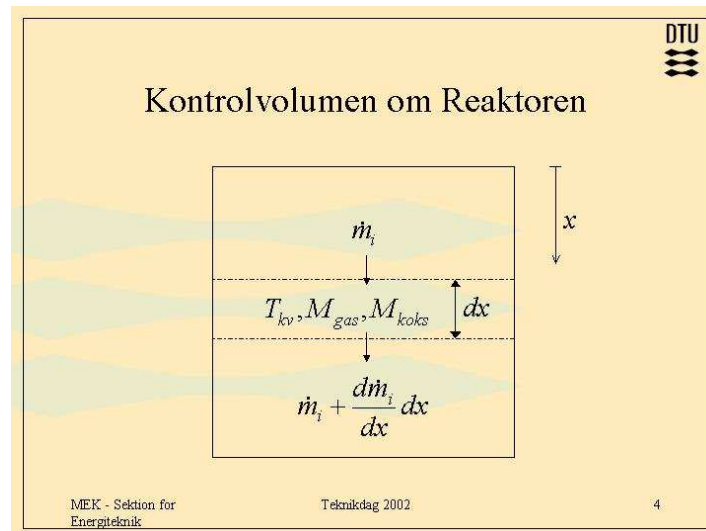
Figur 100

Først vil jeg lige fortælle lidt om baggrunden for det projekt vi har lavet. Så vil jeg fortælle lidt om modellen, vi har opbygget, resultaterne fra modellen, og endelig vil jeg konkludere lidt på de beregninger, der er blevet udført. Baggrunden for projektet er, at man i praksis har observeret, at man kan få en bed i sin koksreaktor, som i den ene side er betydeligere højere end den er i den anden side. Og med den risiko det så kan give for en ujævn koksomsætning og dermed måske en nedsat effektivitet total af forgasseren.

**Figur 101**

Der er også set, at der simpelthen bliver dannet kanaler i koksbedden, med de uheldige konsekvenser det kan have med, at de varme pyrolysegasser simpelthen bare strømmer igennem kanalen, og at der så ikke bliver omsat noget. Så er der så også det, at det i forbindelse med opskalering af forgassere, kan det være godt at have et godt simuleringsværktøj.

Nu vil jeg så gå over til at fortælle lidt om modellen.

**Figur 102**

Det vi har her, det er forgasseren, et differentielt kontrolvolumen vi har lagt ind. Der kommer en massestrøm ind, delvis afbrændte pyrolysegasser og koks, det render igennem vores differentielle kontrolvolumen. Der sker en ændring af massestrømmen af

gas og koks igennem kontrolvoluminet. De ligninger vi har brugt, det er massebevarelse for gas og koks, og vi har en energibalance for vores kontrolvolumen.

DTU

Styrende Ligninger

- Massebevarelse

$$\frac{dm_{gas}}{dt} + \frac{\partial \dot{m}_{gas}}{\partial x} dx = \dot{\Gamma}_{gas} \quad \frac{dm_{koks}}{dt} + \frac{\partial \dot{m}_{koks}}{\partial x} dx = \dot{\Gamma}_{koks}$$

$$\sum_i \frac{dm_i}{dt} + \sum_i \frac{\partial \dot{m}_i}{\partial x} dx = 0 \quad \dot{\Gamma}_{koks} = -\dot{\Gamma}_{gas}$$
- Energebalance

$$\sum_i \frac{dU_i}{dt} + \sum_i \frac{d(\dot{m}_i \cdot h_i)}{dx} dx = 0$$

MEK - Sektion for Energiteknik
Teknikdag 2002
5

Figur 103

De stoffer vi betragter det er, vand, brint, CO og CO₂. Derudover er det kvælstof og metan. Vi har i modellerne antaget, at kvælstof og metan passerer uforbrændt igennem forgasseren, altså de er inerte. Vi antager, at der er kemisk ligevægt, og det er beskrevet med vand-gas shift reaktionen. Reaktiviteten af koksen, beskriver vi med det udtryk her, hvor vi her har et udtryk, der beskriver temperaturafhængigheden.

DTU

Styrende Ligninger

Vand-gas shift reaktionen

$$H_2O + CO \leftrightarrow H_2 + CO_2$$

$$k_a(T) = \frac{[H_2O][CO]}{[H_2][CO_2]}$$

Koksens reaktivitet

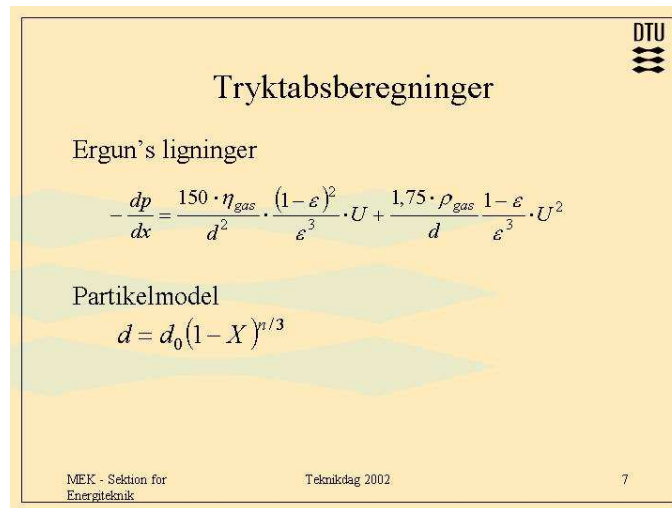
$$r = \frac{A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \cdot n_3 \cdot T^m}{A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) + n_3 \cdot T^m} \cdot \frac{[H_2O]^{n_1}}{1 + n_2[H_2]} \cdot (k_1 + k_2 \cdot X + k_3 \cdot X^{k_4})$$

MEK - Sektion for Energiteknik
Teknikdag 2002
6

Figur 104

Vi har et udtryk, der beskriver afhængigheden af gassammensætningen altså vands fremmende virkning på forgasningshastigheden og brints inhiberende virkning. Vi har et led her, der beskriver reaktivitetens afhængighed af omsætningsgraden, altså hvor meget et stykke flis er omsat og det er så x, der er omsætningsgraden i den ligning her.

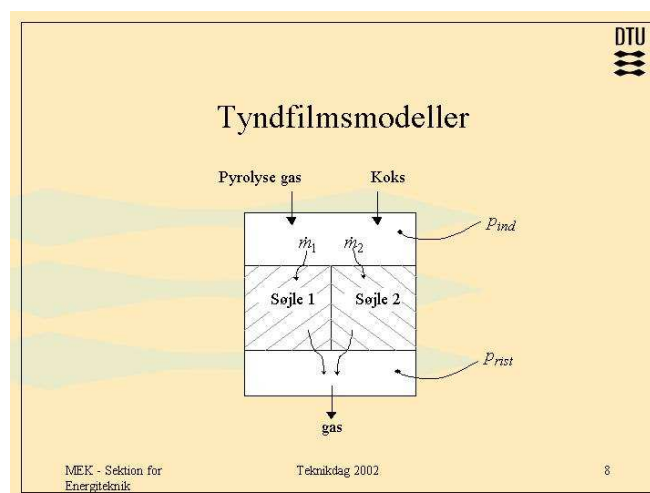
Tryktabet beskriver vi med Erguns ligning, og den har Ulrik lige beskrevet, så den går jeg ikke videre ind i.



Figur 105

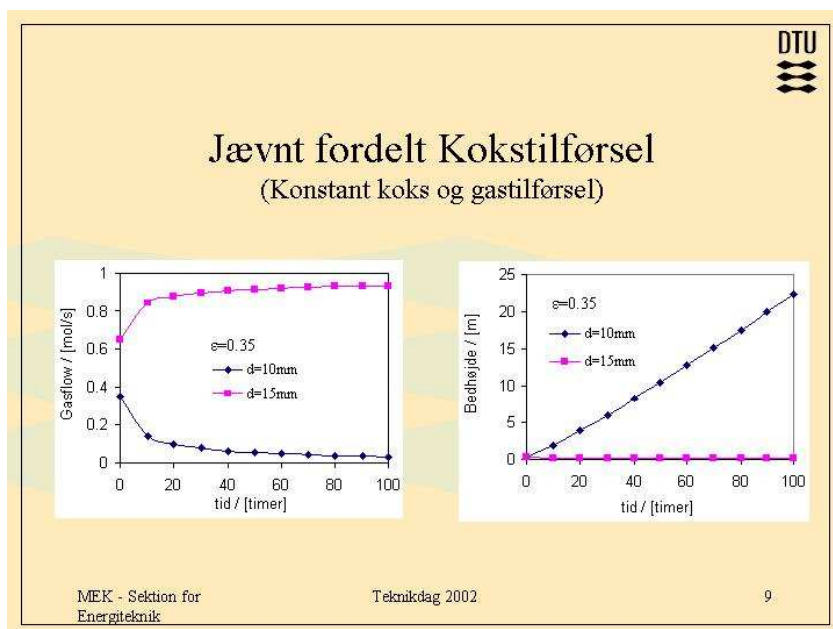
Som omtalt afhænger den bl.a. af diameteren af partiklerne hvorigennem de strømmer. Der siger vi så, at partiklerne i modellen her, har vi antaget, de forgasses kun på overfladen. Det er det vi kalder en skrupmodel. Det er så det udtryk vi har her, hvor vi siger at diameteren er afhængig af startdiameteren, omsætningsgraden og en parameter n. Den parameter n, hvis vi sætter den lig 1, så har vi skrupmodellen, og det er anvender i alle de beregninger jeg viser i det følgende.

Strømningsfordelingen ned igennem koksbedden, den beskriver vi i det her med tyndfilmsmodeller. Dvs. vi har igen kassen af reaktoren. Der kommer pyrolysegas og koks ind i forgasseren, og så har vi så delt forgasseren op i to lige store søjler. Søjle 1 og søjle 2.



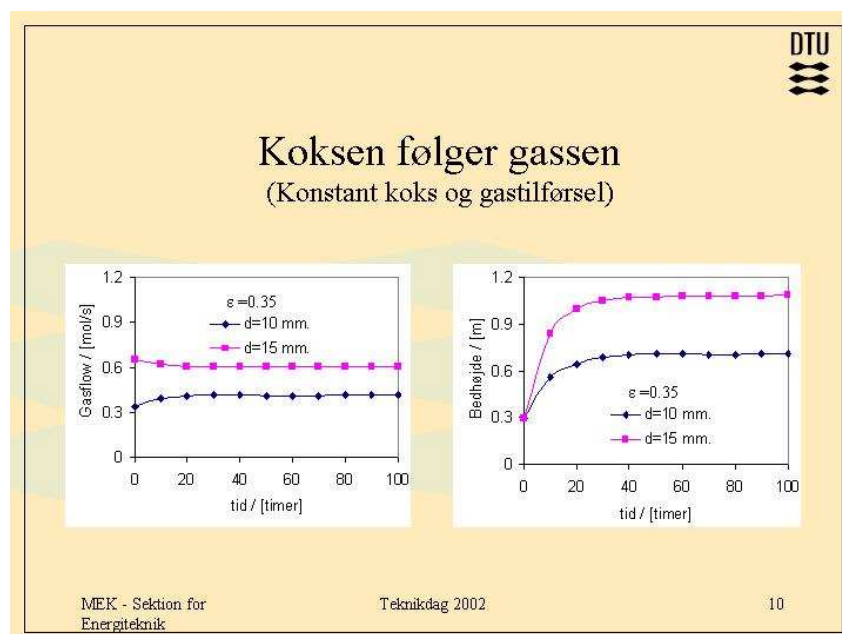
Figur 106

I de to søjler kan vi så sige, at der er forskellige strømningsmodstande, det kan være forskellige startdiametre eller forskellige porøsiteter i de to søjler. Vi har et fribord over og et fribord under. Dvs. for de to søjler, vil der være det samme totale trykfald over. Og hvis der er større strømningsmodstand f.eks. i søjle 1, jamen så vil en meget større andel af gassen strømme igennem søjle 2, for at opretholde det samme totale trykfald over de to søjler. I det følgende vil jeg lige beskrive nogle beregninger vi udførte, for at undersøge stabiliteten af koksbed.



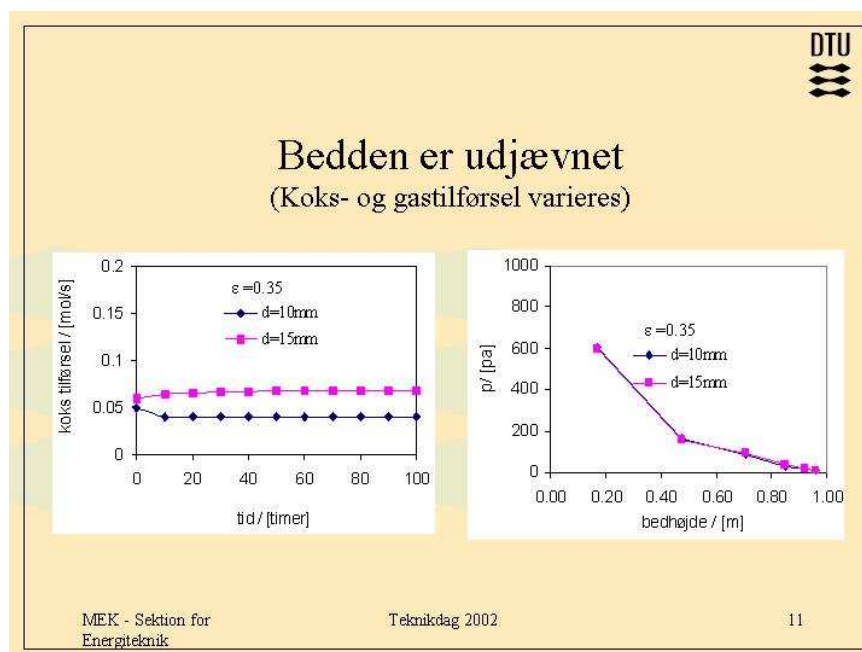
Figur 107

Her siger vi, at der kommer en konstant mængde koks og gas ind i reaktoren. Og vi siger at koksen tilføres på en sådan måde, at der tilføres lige store mængder koks i de to søjler. I den ene søjle, tilføres 10 mm partikler og i den anden tilføres 15 mm partikler. Overalt i bedden, er porøsiteten 0,35. Så har vi så gasflowet her igennem de to søjler, og vi har tiden udad. Vi ser, at som tiden går render en større og større andel af gassen igennem søjlen, med de store partikler, den med lav strømningsmodstand. Hvis vi så går over til denne figur, som viser bedhøjden som funktion af tiden, så ifølge beregningerne vil bedhøjden af den ene søjle bare stige. Det er selvfølgelig ikke så realistisk, at hvis det er så voldsomt, så vil der på et eller andet tidspunkt ske noget sammenskrivning. Men det vi kan bruge beregningerne til, det er at vise, at hvis vi fordeler koksen ligeligt, så er bedden ikke stabil. Så har vi modelleret et andet tilfælde, hvor der sker en hvis fordeling af koksen. Det har vi gjort ved at sige, at koksen følger gassen. Dvs. den søjle, der strømmer meget gas igennem, der kommer der også mest koks op.



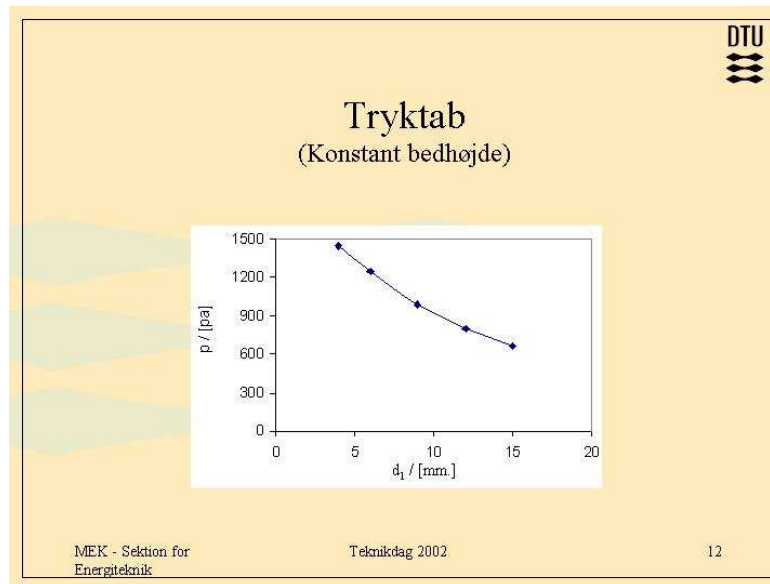
Figur 108

Der ser vi så efter et stykke tid, fuldstændig samme forhold med 10 mm og 15 mm og 0,35 i porøsitet, efter et stykke tid, jamen så stabiliserer tingene sig. Gasflowet igennem søjlerne bliver konstant, og hvis vi så ser herovre med bedhøjden, den stabiliserer sig også med de to søjler. 60 cm i den ene og godt 1 meter i den anden søjle. Et andet tilfælde, der siger vi så, at bedden er total ujævn.



Figur 109

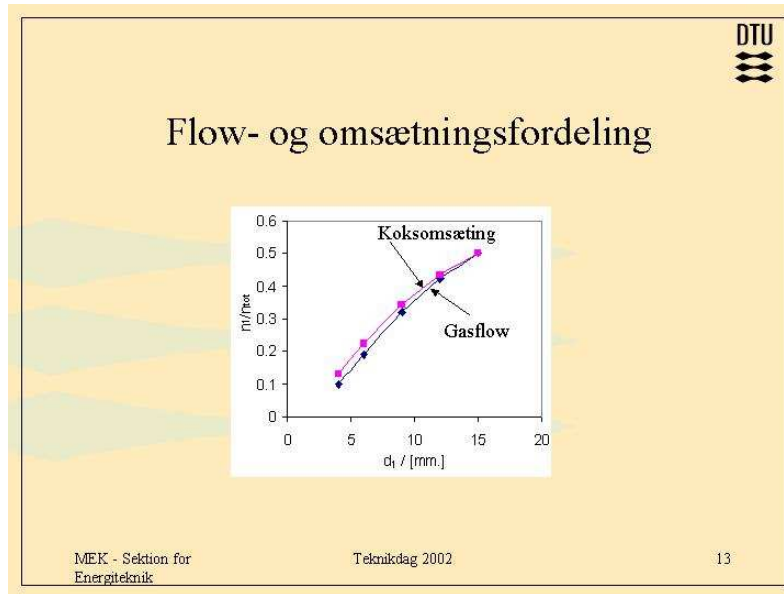
Vi dikterer, at der skal være 1 meter koks i begge søjler, og så bliver der så tilført flis til de to søjler så det opnås. Og der ser vi igen, at efter forholdsvis kort tid, så bliver det stabilt – der strømmer en konstant mængde gas igennem de to søjler. Figuren her, det tryktabsprofil i de to søjler.



Figur 110

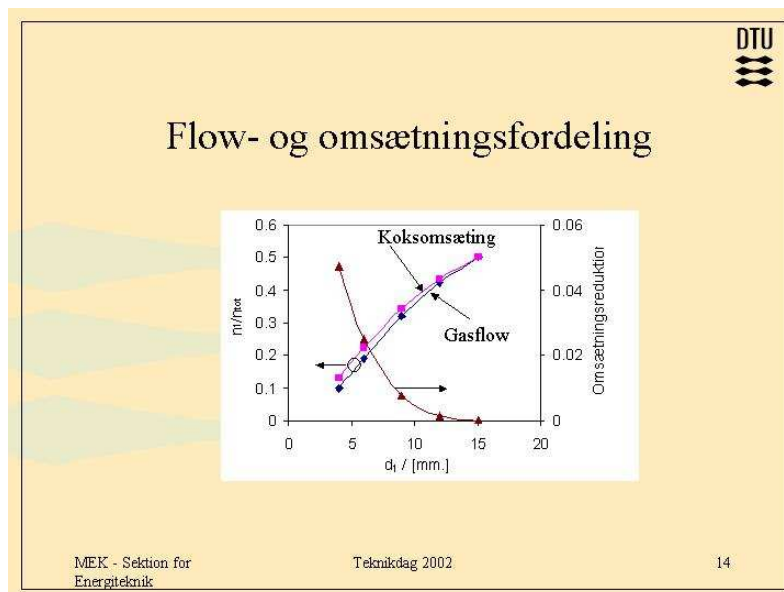
Der er fribord foroven og forneden, så naturligvis vil vi i toppen af bedden og i bunden af bedden have præcis det samme tryk. Det ligger der i fribordet. Men vi ser så undervejs, at der er der også samme tryk. Og det er på trods af, at vi har sagt, at der er simpelthen skåret imellem, der kan ikke strømme gas fra den ene søjle til den anden på tværs.

Nu går jeg så over til at beskrive nogle andre beregninger. Der siger vi, at i den ene søjle, der er der 15 mm partikler, altså tilføres partiklerne med 15 mm. I den anden søjle tilføres så partikler med varierende diameter. Vi ser ikke overraskende, at efterhånden som en del af forgasseren udgøres af mindre og mindre partikler, dermed med større og større strømningsmodstand, så stiger tryktabet over bedden. Det her, det er fuldstændig samme situation, bare nogle andre resultater.



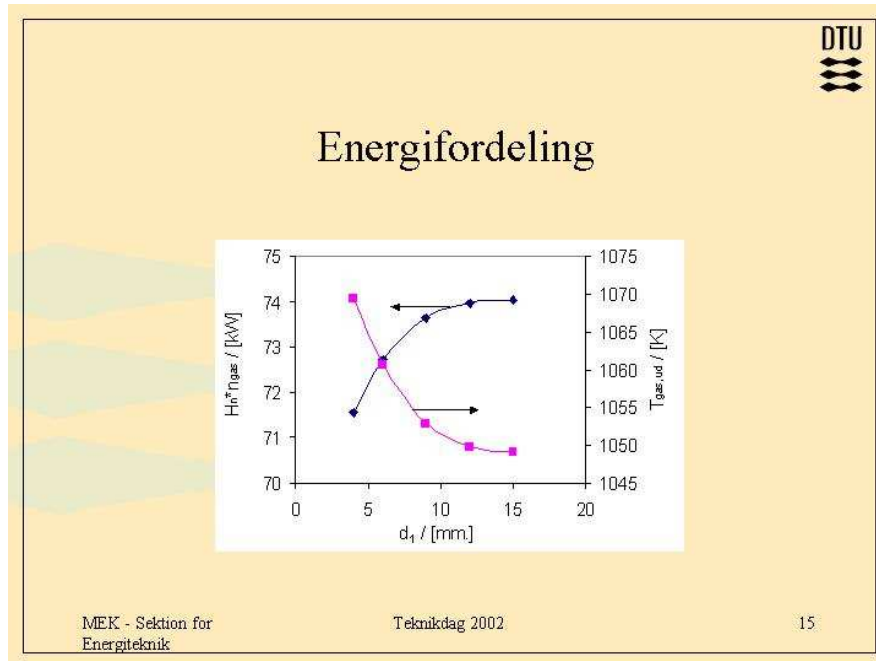
Figur 111

Vi har enheden på den ene akse i mol i søjle 1 pr. mol i alt. Og hvis vi kigger på her, det er gasflowet gennem søjle 1. Dvs. andelen af den totale gasgennemstrømning der strømmer gennem søjle 1. Altså den med de små partikler i. Vi ser, at den falder og når vi har 4 mm partikler i den ene søjle, ja så vil kun omkring 10% af gassen strømme igennem søjle 1. Hvis vi kigger på den røde kurve, som viser koksomsætningen, altså andelen af koksomsætningen i søjle 1 i forhold til den totale koksomsætning. Der kan vi se, at den falder også noget nær det samme, altså omkring 10%. Dvs. koksomsætningen den følger simpelthen, hvor meget gas der strømmer igennem den pågældende søjle. Så kommer der lige en graf mere på her.



Figur 112

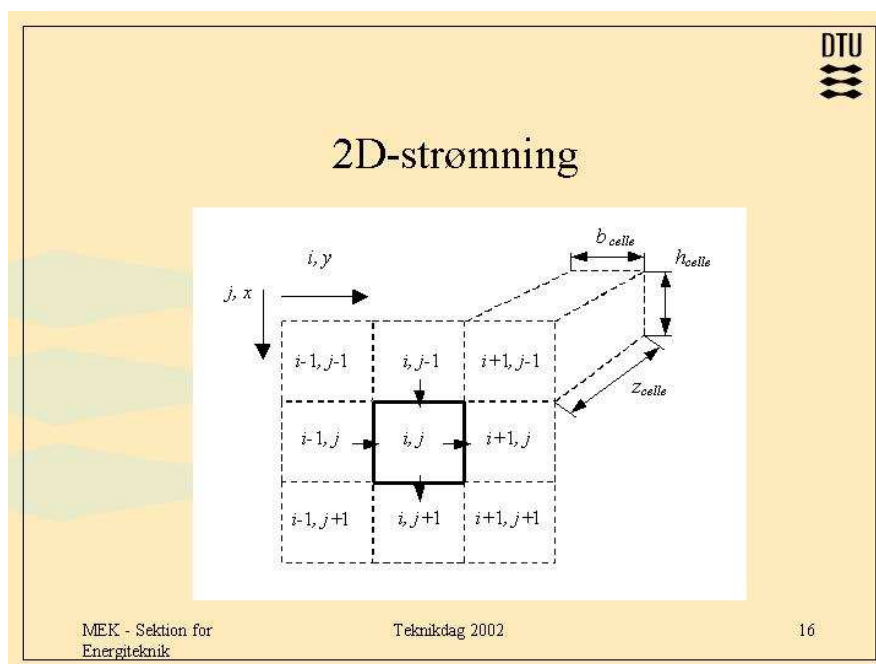
Den viser hvor meget den totale omsætning i forgasseren falder, når vi sænker partikelstørrelsen i den ene. Det er så i forhold til, hvis der er ens størrelse partikler i begge søjler. Ved 5 mm er der ens, så der er der ingen reduktion, det er referencetilstanden. Når vi så går herud, hvor vi tilsætter meget små partikler, hvor vi kun har 10% af omsætningen der sker i søjle 1, det medfører en omsætningsreduktion for forgasseren totalt, men kun på 5% selvom vi har en meget skæv koksfordeling. Energifordelingen – igen med samme enheder her.



Figur 113

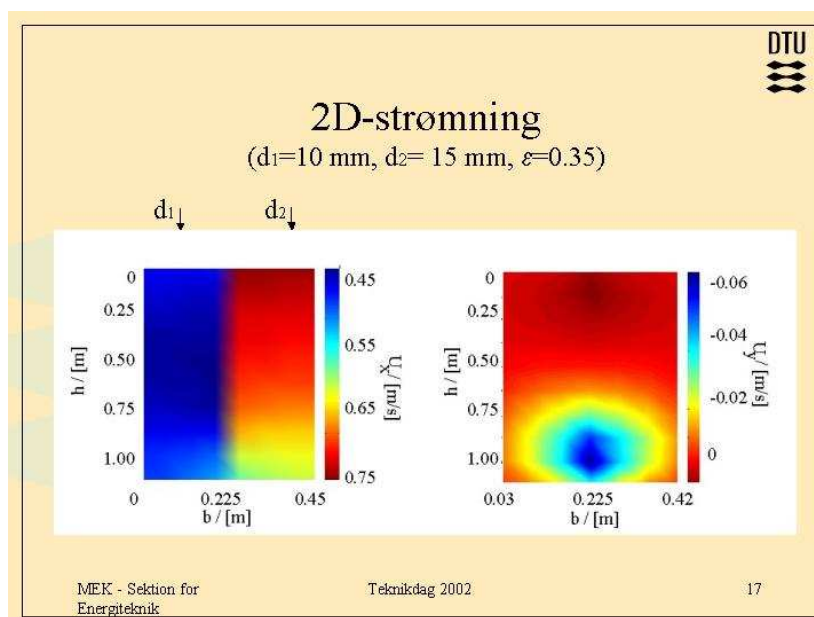
Hvis vi sætter mindre partikler til, så vil en større del af energien komme ud som termisk energi og en mindre andel vil komme ud som kemisk energi – målt som brændværdi gange den producerede gas.

De beregninger, vi har vist her, er så alle sammen under antagelse af, at der ikke kan være strømninger på tværs. Det har vi gjort ved at dele forgasseren op i en antal celler, og ved at antage, at den er kvadratisk, og det her er så simpelthen sidebredden på forgasseren.



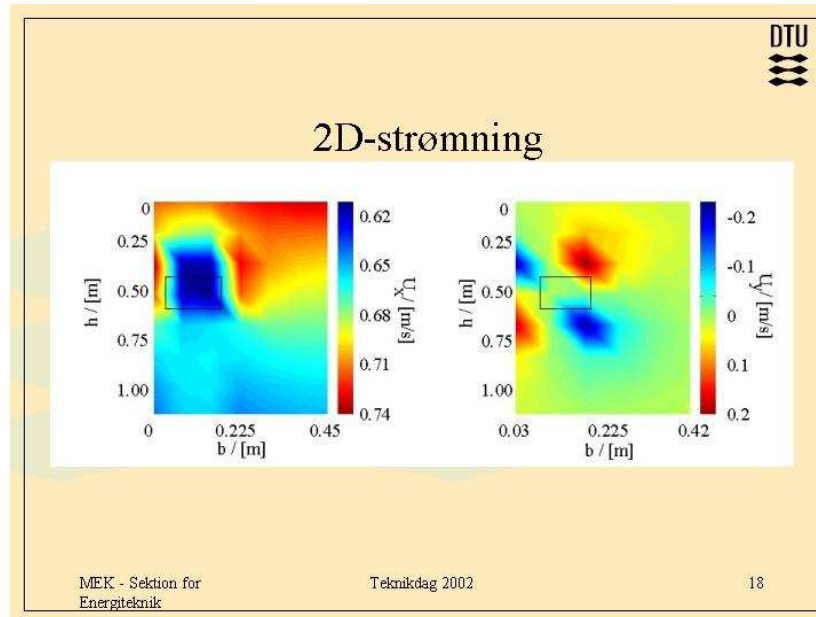
Figur 114

Og så har vi så modelleret en situation, som jeg har vist tidligere. Altså hvor vi i den ene halvdel af forgasseren har partikler med 10 mm, og i den anden tilfører vi partikler med 15 mm.



Figur 115

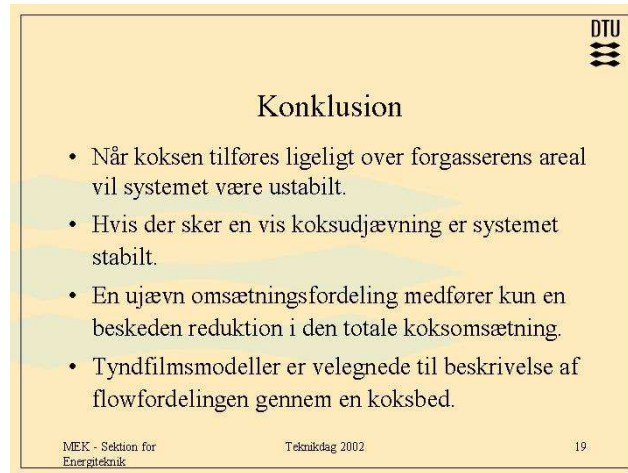
Så ser vi strømningshastigheden ned igennem forgasseren. Så har vi højden af forgasseren opad den ene akse, og bredden af forgasseren på den akse. Så der har vi en strømningshastighed på omkring $\frac{1}{2}$ m/s i den side med små partikler og omkring 0,65-0,7 m/s i den anden. Denne figur viser principielt det samme:



Figur 116

Det er så bare tværhastigheden. Den regnes positiv mod højre. Dvs. hvor det er rødt, der render det mod højre, og hvor der er blå nede i bunden vil der så være en strøm mod venstre. Der har vi så kørt modellen, og har undersøgt, hvad betyder den skæve omsætningfordeling for koksomsætningen. Der kan vi se, at det betyder en reduktion på 2,0% i forhold til, hvis vi havde ensartede partikler i. Hvis vi så sætter skodder ind, hvilket svarer til en tyndfilmsmodel, altså der kan ikke løbe gas på tværs, så vil vi have en omsætningsreduktion på 2,1% i stedet for, så tyndfilmsmodeller er ganske gode til den situation her. Selvfølgelig giver det problemer hvis vi som vi har modelleret her, siger vi har lige et lokalområde her, hvor der er større strømningsmodstand. Så har vi igen den langsgående hastighed. Det er den blå farve, altså den lave hastighed. Den er så lav her, og så højere ude omkring. Denne viser tværhastigheden, hvor den blå farve viser den negative hastighed, altså strømning mod venstre. Den røde viser strømmingen mod højre. Vi ser her kassen med en større strømningsmodstand, så vil gassen løbe udenom her, altså rød mod højre og blå mod venstre. Hernede vil den så løbe ind under igen. Det er så sådan nogle ting, man kan med vores to delmodeller, som vi skal til at arbejde med nu.

Konklusion, vi har fundet ud af, at hvis koksen fordeles ligeligt over forgasserens areal, så vil systemet være ustabilt.



Konklusion

- Når koksen tilføres ligeligt over forgasserens areal vil systemet være ustabilt.
- Hvis der sker en vis koksudjævning er systemet stabilt.
- En ujævn omsætningsfordeling medfører kun en beskedent reduktion i den totale koksomsætning.
- Tyndfilmsmodeller er velegnede til beskrivelse af flowfordelingen gennem en koksbed.

MEK - Sektion for Energitæknik Teknikdag 2002 19

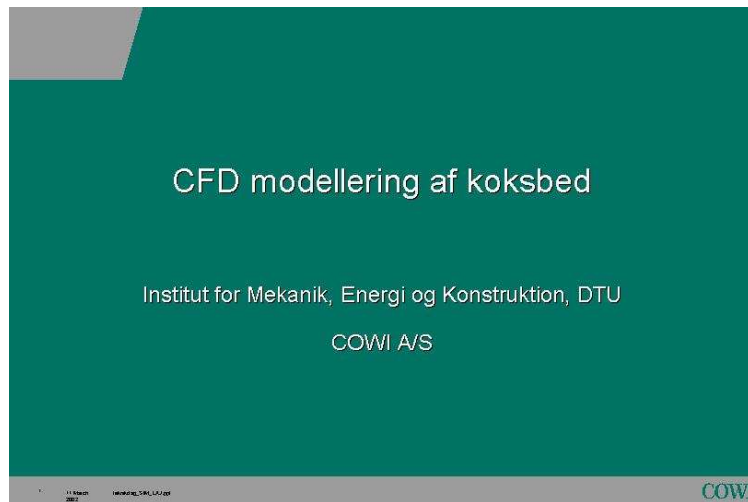
DTU

Figur 117

Hvorimod hvis der sker en vis udligning af koks, vil vi have en stabil situation. Vi har set, at selv en meget ujævn koksomsætning kun reducerer den totale omsætning i forgasseren ganske beskedent, og så at tyndfilmsmodeller er ganske gode til at beskrive strømningsfordeling i en koksbed.

CFD modellering af koksbed - COWI

ved Simon Matlok, COWI



Figur 118

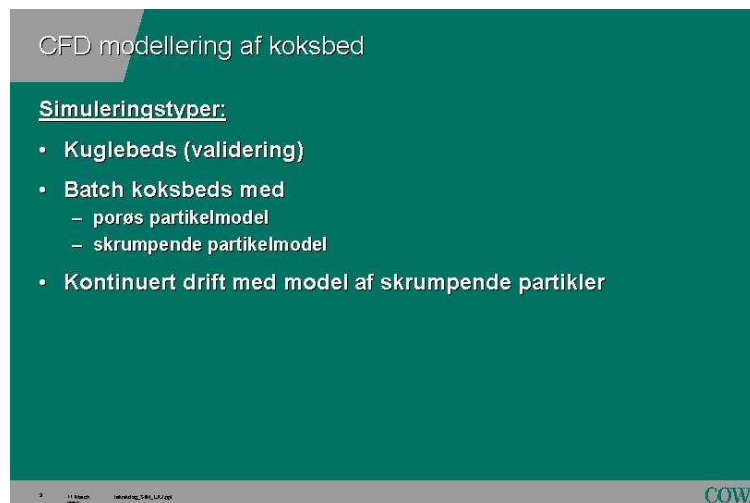
Jeg hedder Simon Matlok, og jeg kommer fra COWI. Vi har sammen med MEK her på DTU været involveret i dette projekt, og vi COWI, har stået for CFD-modelleringen af koksbed, og det er nærmere strømmingen i fixed koksbeds. Kongstanken ved dette her er, at man anvender et eksisterende værktøj – CFD og kobler det med bed-modeller. Transporten af koks ned igennem sin fixed gasbed. De egenskaber man bruger ved CFD-koden i den forbindelse, det er jo at CFD-koden kan holde styr på momentumflux, varmefflux og massestrømme af strømmingen, og det vi så skal koble på det er bedodynamikken. Her i denne gennemgang vil jeg kort vise den model vi har bygget op. Og så vil jeg vise nogle resultater vi har opnået med det.

Først til formålet af denne her del af projektet, det har været at opstille et værktøj, som kan være egnet til parameterstudie, hvor man f.eks. kan undersøge forhold omkring kanaldannelse og opskalering af de her fixed koksbeds. Så er vi så i gang med at vurdere egnetheden af dette værktøj til modellering.



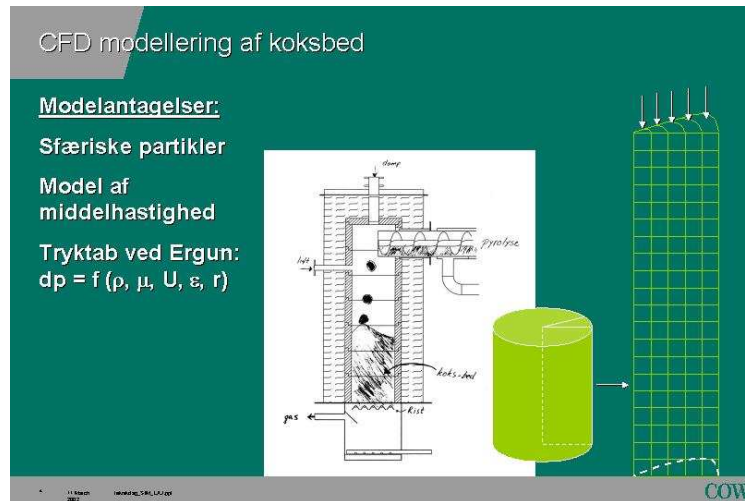
Figur 119

De typer modelleringer vi har lavet med CFD, står her.



Figur 120

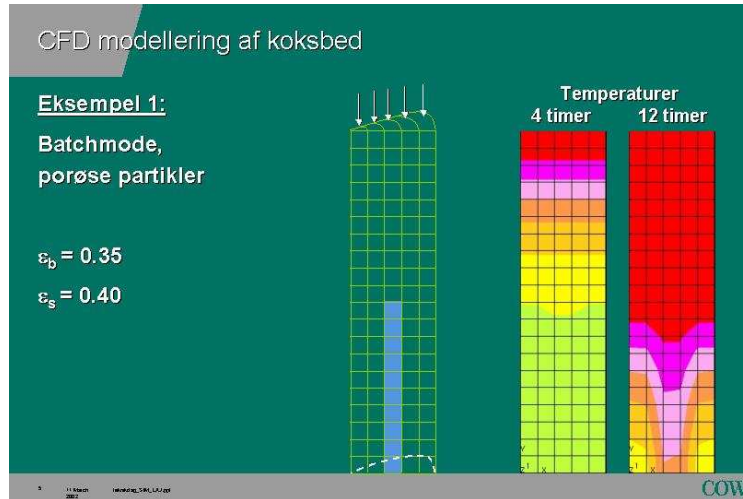
Vi har lagt ud med en valideringsserie, hvor vi har valideret op mod eksponentiel data, som er fremkommet her ved instituttet. Det gav tilfredsstillende resultater, så vi fortsatte. Vi har så kørt videre med en simuleringstype, som vi kalder batchmode, hvor vi forgasser den koksmængde, der måtte være i reaktoren. Vi fylder altså ikke noget på, og trækker heller ikke noget ud ved risten. Der har vi brugt to partikelmodeller, som vi har hørt hør: en porøs partikelmodel, hvor forgasningen foregår inde i partiklen og en skrumpende partikelmodel, hvor forgasningen foregår på partiklens overflade. Den sidste simuleringstype vi har gennemført, det er hvor vi simulerer en fixed koksbed, med konstant højde, hvor vi tager gas/aske/koks ud nede ved risten og så fylder vi netop så meget koks på i toppen af bedden, der skal til for at vi kan holde en konstant højde. Nu vil jeg så vise jer den model vi har opbygget.



Figur 121

Hvis vi lægger ud med den hvide tegning, så er det en typisk udformning af en fixed koksbed. Vi har en indfødnings i toppen til højre med en snegl, og så bliver bedden opbygget i bunden af reaktoren ovenpå en rist. Den første antagelse det er, at denne bed kan approksimeres med en cylinder. Vi har altså en horisontal overflade af koksbedden. Den næste antagelse er, at de ting der sker i koksbedden, de ting der betyder noget, det er de ting der foregår i radialretning altså fra centrum og udefter. Plus selvfølgelig i aksialretning. Derfor kan vi nu trække et stykke af denne bed ud og modellere vores strømning i den. Det er så et eksempel på de kontrolvoluminer vi regner på. Man kan kalde det et stykke kage.

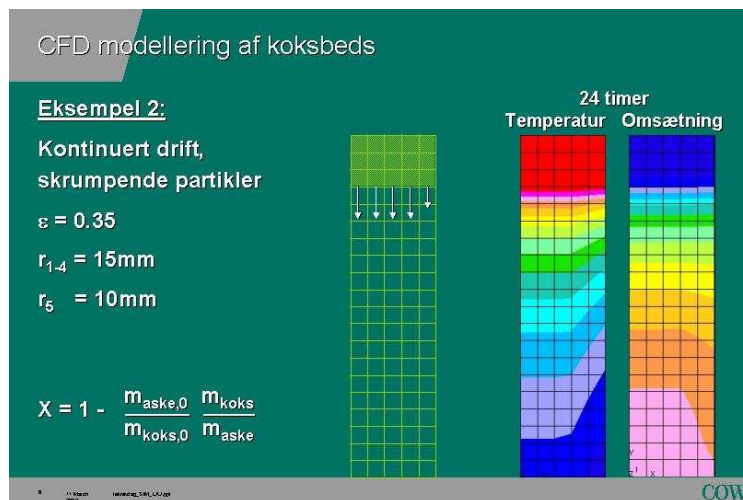
Jeg går lidt tilbage. De væsentligste antagelser er, at vi regner på sfæriske partikler og det vi modellerer er altså ikke strømning omkring disse partikler og den detaljerede strømning. Det vi kigger på er en middelhastighed ned igennem bedden. Tryktabet, er ved erguns ligning, som er en funktion af størrelser. De tre første som er møntet på strømningen, nemlig densiteten, viskositeten og middelhastigheden og så nogle partikelspecifikke størrelser, nemlig porøsiteten og størrelsen af partiklen. Jeg vil vise et eksempel nu. Her er et eksempel, hvor modellen simulerer en batchmode med porøse partikler. Man kan sige, at forgasningen foregår inde i partiklen og partiklen fastholder sine form og dermed sin dynamiske trykmodstand. Vi har pakket bedden forskelligt med forskelligt porøsitet, således at vi i de nederste 10 kontrolvoluminer, har indlagt et forhøjet porøsitet – større hulrumsandel i forhold til resten af bedden. De resultater vi ser til højre det er temperaturer, hvor den røde farve er høje temperaturer og de gullige er lavere temperaturer.



Figur 122

Efter fire timer kan I se, at der er en uniform temperaturfordeling ned igennem bedden. Vi kan lige ane i toppen, hvor porøsiteten stiger, der begynder der at ske en kanaldannelse, vi har en parabel dernede. Efter 12 timer er de høje kommet ned til toppen, hvor der sker noget, altså skiftet i porøsiteten. Alt koksen, som har været i dette område er simpelthen forgasset. Og pga. den mindre modstand i midten, vil strømmingen søge igennem her og dermed også trække varmen med.

Det var et eksempel, jeg har så et mere her. Det er hvor reaktoren er i kontinuert drift. Vi trækker en konstant mængde aske og koks ud i bunden af reaktoren hernede.



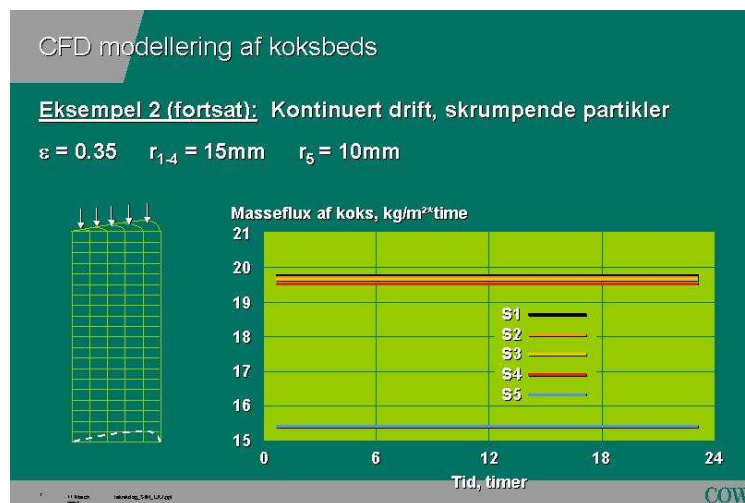
Figur 123

Og så tilfører vi den mængde der skal til for at opretholde en konstant højde på det her niveau heroppe. Vi har anvendt en skrumpende partikelmodel, hvor porøsiteten er 0,35. Det vi har ændret nu, er størrelsen af partiklen. Vi lægger partikler med størrelsen 5 mm i de fire venstre søjler af kontrolvoluminer, og så lægger vi partikler med en mindre

radius ude ved væggen. Det vil så resultere i en øget trykmodstand ude ved væggen som jeg indikerer her, så får vi en lavere aksialhastighed ned gennem bedden.

Jeg viser to ting herude til højre. Begge ting er taget efter 24 timers drift af reaktoren. Til venstre ser vi temperatur igen rød farve er høje temperaturer, blå farve er lave temperaturer. Det vi ser indledningsvis i toppen af bedden er en uniform temperaturfordeling, som bliver mere og mere skæv jo længere vi kommer ned. Og det er igen, som vi også så i et tidligere eksempel, det er, at hvor trykmodstanden er størst, der vil strømmingen søge væk og trække varmen væk. I dette tilfælde trække varmen væk fra væggen herude. Så vi oplever altså, hvis vi kigger på et horisontalt snit, oplever vi lavere temperaturer ved væggen.

Herude har vi det vi kalder omsætningsgraden, som fortæller noget om koksens forgasningshistorie. Blå der er den nul og dvs. det er jomfruelig koks, og jo varmere farverne bliver jo større bliver omsætningsgraden. Som maksimalt kan være 1, og så er koksen omsat. Vi ser igen, som ved temperaturen, en uniform fordeling som ned igennem bedden bliver skævere og skævere. Men nu oplever vi at profilet hælder modsat. Dvs. vi har en lavere omsætningsgrad ude ved væggen og det er igen fordi, at der er lavere temperaturer derude og dermed er reaktiviteten lavere. Det er et eksempel på, at man får en skævvridning i omsætningen ned igennem bedden. Det, vi kigger på her, er den mængde af koks, jeg skal tilføre i toppen af min bed, for at fastholde den ønskede højde.



Figur 124

Søjlerne 1-5 set fra venstre herude på min model: det var i søjle 5, vi havde en mindre diameter på partiklerne og dermed en øget trykmodstand. Og som vi så før, så var der en mindre omsætning derude, og det giver en direkte afspejling i en reduceret mængde af påfyldt koks, for at opretholde en konstant højde. Vi ser, at de første fire søjler lige ligger under 20 kg/m^2 pr. time. Søjle 5 har ca. 75% af omsætningen af de øvrige.

Grunden til, at det er en konstant kurve, det er fordi vi i dette tilfælde anvender en reaktivitet der kun er en funktion af temperaturen og ikke omsætningen. Hvis jeg havde haft omsætningen med i det, havde jeg ikke set en ret linie men så havde jeg i stedet set bevægelse hernede. Hvis jeg kort skal ridse op hvad denne model kan. Så er der tale om en model der kan modellere stationær og dynamisk.



Figur 125

Det I har set er en pseudo-3D-model. Vi har antaget, at der ikke foregik noget i det horisontale snit. Vi kan modellere omsætningen af koks til gas ved to forskellige partikkelmodeller. Vi kan modellere transporten af gas ned igennem bedden. Transporten af koks og asken ned igennem bedden. Vi kan modellere temperaturfordelingen, varmefflux, strømmingen og de lokale trykforhold.

Hvis jeg kort skal sammenfatte, hvad denne del af projektet giver, så har vi opstillet en model, der kan modellere varme og stoftransport i fixed koksbed. CFD er et ressourceinitiativt værktøj, hvis man skal modellere beddynamikken.

Som vi har set på nogle af mine og Torbens figurer, så er der tale om lange simuleringstider, vi snakker om 24 timer, 2 og 3 døgn. Den mængde koks man fylder ind i toppen af en bed, den kan være 2-3 dage om at komme ned i bunden i nogle simuleringer. I modsætning til det flow, der går ned igennem bedden. Den er 2-3 sekunder om at nå ned igennem bedden. I CFD, skal man altså opløse begge tidsskalaer der, så derfor er det en meget fin opdeling man skal bruge for at opløse flowet ned igennem.

CFD modellering af koksbed

Sammenfatning

- Stationær / dynamisk CFD model til modellering af varme- og stoftransport i fixed koksbed
- CFD er et ressourceintensivt værktøj hvis bed-dynamikken skal beskrives
- CFD værktøjet bør anvendes til stationære / korte transiente simuleringer hvor der eksempelvis indgår:
 - kompleks geometri /strømning
 - lokale fænomener

COWI

Figur 126

Det afføder så den sidste, det er, at man skal anvende dette værktøj til korte transiente simuleringer, hvor der eksempelvis indgår komplekse strømninger og geometrier. Det kan være man kan koble modellen sammen med omstændighederne uden for bedden, f.eks. omstændigheder omkring risten, i fribordet – således at man udnytter styrken ved dette værktøj. Det var hvad jeg havde valgt at fortælle jer.

Ulrik Henriksen: Ja vi siger tak til Benny, Torben og Simon, så vil jeg høre om der er nogle spørgsmål til denne modelleringsanvendelse. Ja Thomas, du er ikke faldet i søvn kan jeg se, ikke dermed sagt I andre skulle være faldet i søvn.

Thomas Koch: Jeg mistede totalt overblikket over modellen. Jeg sidder sådan tilbage med "hvad fanden kan man bruge det til", er det overhovedet kosteffektivt. Hvad kan det? Kan du give sådan et kort kursus for dummies?

Simon Matlok: Jeg kan prøve at gentage, det jeg sagde til sidst, prøve at uddybe det lidt. Det jeg kan bruge det til, det er, at jeg ikke skal simulere 10 dage i realtid. Det er f.eks. hvis jeg tager gasudtrækket i den ene side under risten, kan jeg se hvilken påvirkning det vil have på flowet igennem min bed, og dermed hvilken skævvridning af temperaturprofilen det kan få ned gennem min bed. Så kan jeg analysere designmæssige ting, der foregår over og under bedden.

Ulrik Henriksen: Det er fuldstændig rigtigt Simon. Der er det, ved det, at det tager lang tid for det her program at køre. Det tager 24 timer sagtens for at gennemregne mange mange timers forgasningsforsøg. Derfor så siger du, at du skal bruge dette værktøj til nogle detaljer, hvorimod det værktøj Torben har bygget op, det tager ikke 24 timer, men måske 24 sekunder, for at køre 5 dages forgasningsforsøg. Derfor skal det værktøj bruges til de mere overordnede ting, hvorimod CFD-modellering er mere velegnet til detaljerne. Kan man ikke godt sige det på den måde?

Simon Matlok: Det er fornuftigt sagt ja.

Thomas Koch: Jeg sidder tilbage med en fornemmelse af, at jeg kan nå og bygge fem koksbeds for de samme penge, som du kan lave en model for?

Simon Matlok: Vi skal ikke snakke økonomi her skal vi?

Thomas Koch: Det synes jeg da, er meget relevant. Jeg sidder og bygger koksbeds og vil gerne optimere på dem og kommer bl.a. ud her for at finde ud af, hvad der er af værktøjer, som bliver udviklet for Energistyrelsens penge, som jeg kan bruge eller ikke bruge. Og så er det da lidt spændende for mig at vide, om det overhovedet er relevant for mig at komme til dig og spørge om noget? Kan du fortælle mig et eller andet indenfor en økonomi, jeg kan betale? Det synes jeg da, er relevant for mig.

Simon Matlok: Uden at komme ind på økonomi, kan jeg så fortælle, at det her det skal ses, dette værktøj skal anvendes til at kigge på detaljer og lave en konsekvensanalyse allerede inden du begynder at bygge et pilotprojekt.

Ulrik Henriksen: Jeg kan f.eks. sige, at noget af det resultaterne viser indtil nu er, at man sagtens kan skalere fixed koksbeds op til en vilkårlig størrelse. Man kan sagtens lave en medstrømsforgasser med en diameter som en gylletank. Jeg har regnet ud engang, at en gylletank med 1 meter kokslag bliver ca. 500 MW, eller var det et 1000 MW anlæg. Det vil man faktisk med disse beregninger kunne vise, at det kan man godt. Det vil nok være lidt dyrt at bygge sådan en forgasser i virkeligheden, hvis man ikke har regnet på den.

Jens Dall Bentzen: Jeg vil lige følge op på det, nu da du (Thomas) spørger konkret. Jeg var nede og besøge dig efter du havde kørt forsøg sidste gang. Hvad var det du sagde, bare det at køre forsøget det kostede? Det var noget med ½ mio. euro eller sådan noget at køre det sidste forsøg. Hvad var prisen for at køre et forsøg med din 400 kW forgasser – det var noget i den stil. Det her, det har kostet langt mindre, og det er jo et værktøj til f.eks. hvis du vil..

Thomas Koch: Men bliver du klogere af det forsøg?

Jens Dall Bentzen: Det bliver vi også her, og det er et værktøj. Når man laver simuleringer, opstiller modeller før, så har man jo et værktøj, til når man skal dimensionere sit anlæg. Det er utrolig vigtigt. Nu kommer du, og du har kørt forsøg, og du finder ud af, at du skal bygge pyrolysen på en anden måde. Det kunne have været smart, hvis man havde lavet modelleringen på forhånd, der kunne have sagt, at man skulle have bygget sit anlæg anderledes, før man har bygget det og kørt forsøg. Så det man bruger modeller til, det er i designfasen.

Thomas Koch: Ja ja, men hvor gode er de modeller? Det er ikke mere end en uge siden Ulrik var nede ved mig, 14 dage siden han var nede og kigge på den nye pyrolyseenhed. Og for et par dage siden ringer han til mig og siger, at han var meget bekymret for luftindtaget, jeg ringede til ham, tror jeg. I hvert fald så siger Ulrik, at han var meget bekymret for luftindtaget, fordi der ville optræde nogle utrolig varme spots – det havde han regnet ud. Så sagde jeg det behøver du ikke at være bekymret for, vi prøvede det i sidste uge og det gør der ikke.

Ulrik Henriksen: Den vil jeg godt lige kommentere. Det er fuldstændig rigtig Thomas, at jeg sagde det, men jeg skal lige understrege, at jeg havde ikke regnet på det, det var bare sådan noget jeg havde troet.

Thomas Koch: Du pralede af at havde regnet det..

Ulrik Henriksen: Nej det pralede jeg nu ikke af.

Thomas Koch: Du sagde du havde lavet modelberegninger.

Ulrik Henriksen: Det sagde jeg ikke, jeg sagde at jeg lige havde kigget lidt på termodynamikken, hvor varmt det kunne blive.

Thomas Koch: Nu trækker du i land.

Ulrik Henriksen: Nej, jeg har ikke lavet strømningsberegninger, overhovedet ikke. Nå men i hvert fald så mener jeg, at man udfra sådan nogle modeller kan sige noget om i hvilken retning det går. Det man kan sige mest om kvalitativt, er hvordan går det? Hvor vil det løbe hen af? Og hvad er effekten af de forskellige ting? Nu kan jeg godt nævne nogle andre eksempler vi to har diskuteret Thomas, men det tror jeg ikke vi skal komme nærmere ind på, hvor jeg måske har en indtryk af, at det kunne måske godt have øget din forståelse lidt, hvis du havde regnet på nogle ting på en lidt anden måde end du havde gjort.

Thomas Koch: Ja ja og hvis vi havde tænkt os om, havde det også hjulpet, men var vi blevet klogere af sådan noget der?

Ulrik Henriksen: Det tror jeg. Jeg tror man bliver klogere af sådan noget her. Og så vil jeg lige sige en ting til. Det dyreste det er at udvikle modellerne. Nu er nogle af de her modeller udviklet, og så kan man faktisk bruge dem ,og det er ikke så dyrt vel. Det dyrere at lave den første model, de næste modeller er ikke så dyre at bruge. Det er altså også en pointe.

Okay er der flere kommentarer eller spørgsmål, ellers siger vi tak. Og så skal vi se på tottrinsforgasning.

Totrinsforgasning

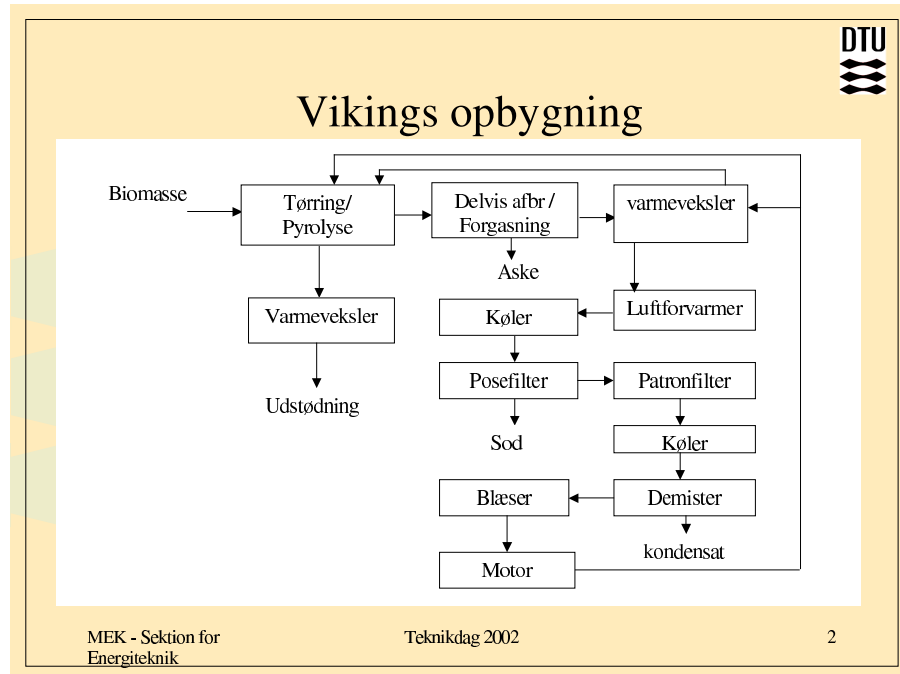
ved Ulrik Henriksen, MEK

Ulrik Henriksen: Jeg vil tale lidt om totrinsforgasning og jeg har valgt at tale en lille smule om Vikingprojektet. Det er en forgasser, som vi har bygget nede på Halmfortet, og som vi kan se i eftermiddag den kører ikke. Og det er der en grund til. Det her billede, det er inden den blev isoleret.



Figur 127

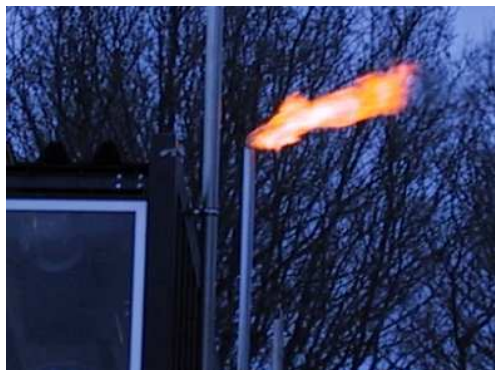
Der kan man se, hvordan den står der i sin fine container med skoven i baggrunden. Og som de fleste nok har luret, så er der en indføder her, en eksternt opvarmet pyrolyseenhed og en forgasser, og så er der en gasmotor. Det er en Deutz gasmotor der står der. Og gasrensningen det kommer nu.



Figur 128

Procesdiagrammet, hvor vi har biomasse ind. Tørring, pyrolyse, delvis afbrænding og forgasning. Så kommer der aske ud, det er det der er problemet, det kommer ikke. Så kører vi ind i en varmeveksler, hvor vi veksler noget af udstødningsvarmen. Det var det vi brugte systemanalysen til at vise, at det kunne man opnå 1%-2% højere el-virkningsgrad ved at gøre. Så kører vi gassen igennem en luftforvarmer. Så kører vi gassen igennem en køler, hvor vi køler den ned til over dugpunktet, inden vi kører det igennem posefiltret. Og så har vi sådan et sikkerhedspatronfilter efterfølgende. Så køler vi gassen yderligere ned og får kondenseret lidt vand ud og dermed får vi også hovedparten af ammoniakken ud. Vandet fanger vi så i en demistor, der bliver ikke noget kondensat – den ser meget rent ud. Jeg gætter på, at det kan gå direkte i kloakken uden af Jes La Cour ville have noget imod det. Så kører gassen ind i en gasblæser ind i motoren, hvor den laver strøm og varme. Udstødningsvarmen fra motoren går herop, og noget af det veksler med den varme gas og resten fører man så ind i pyrolyse-tørreheden. Og kører så igennem en varmeveksler, hvor man udnytter udstødningen til centralvarme.

Billedet til venstre er der fra nogle af vores opstart dernede, hvor vi kan se røgassen, og at der er lidt partikler i.



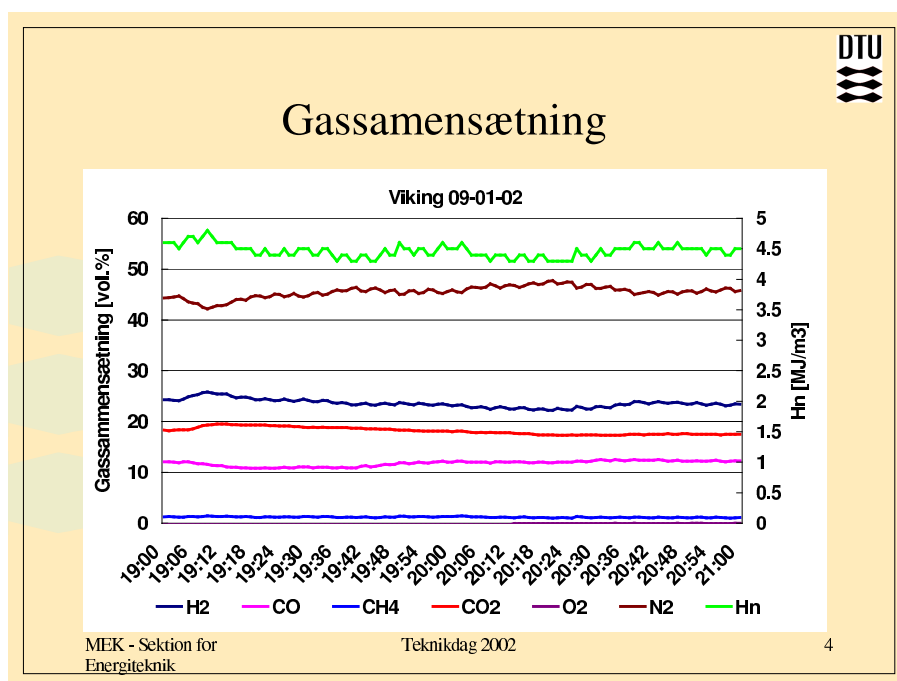
Figur 129



Figur 130

Til højre har vi så, hvor den har været igennem posefilteret og er blevet til en ren fin gas. Man kan faktisk godt se, at der er gået et stykke tid fra vi tog det ene billede til vi tog andet. Det har været om aftenen vi har kørt forsøg

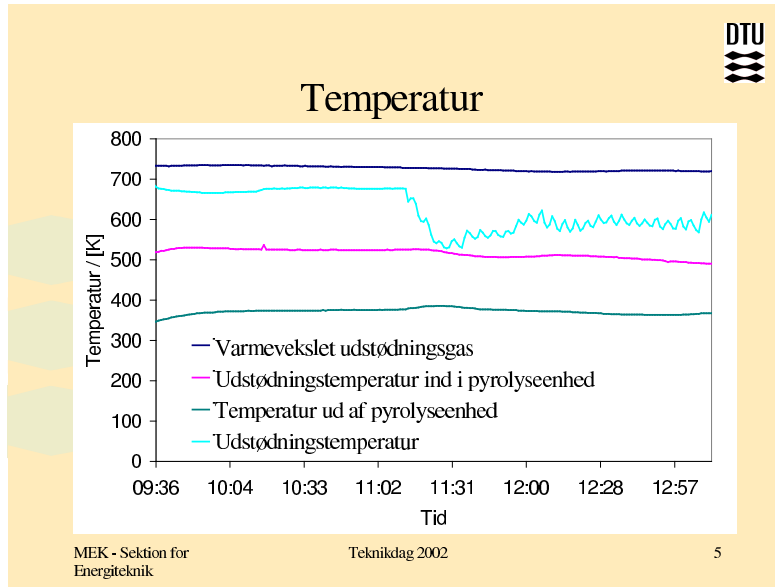
Her er så nogle kurver over nogle gasomsætninger i forgasseren over nogle timer. Det ligger sådan set ganske pænt og det ligner almindelig totrinsforgasningsgas.



Figur 131

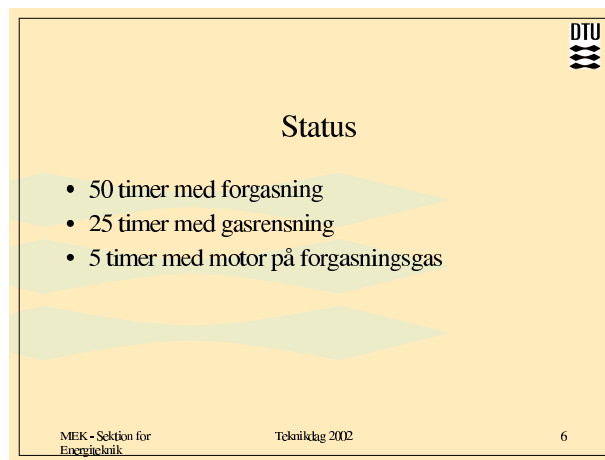
Tjæreindholdet i gassen har vi ikke målt, men den ligger på mellem 25-50 mg/m³ gas. Siger min næse.

Her har vi nogle temperaturer i varmevekslersystemerne og i udstødningen af motoren.



Figur 132

Her har vi en temmelig høj udstødningstemperatur på motoren. Der har vi varmet motoren op ved at køre på naturgas. Så er vi så skiftet over på forgasningsgas, og der har vi en lidt lavere og lidt svingende udstødningstemperatur. Jeg tror svingningen skyldes, at gasforsyningen til motoren ikke har været helt konstant, så luftoverskudstallet har svinget lidt. De andre temperaturer bliver ikke påvirket af, at der er en lidt svingende udstødningstemperatur, kan man se.



Figur 133

Vi har kørt alt i alt indtil nu 50 timer med forgasseren. Den er stadig under indkøring. Vi har haft 25 timer med gasrensning og fem timer med motoren på forgasningsgas. Så skete det der med, at asken ikke rigtigt ville komme ud.

Kulstofasken der kører ud under bedden, det ville ikke rigtig komme ud. Det stoppede så det hele, og som jeg siger til Thomas, sidst vi talte i telefon sammen, at hovedårsagen

til det, det er simpelthen at jeg har drevet alt for lidt industrispionage nede hos Thomas. Så ville det der aldrig have sket. Jeg tror simpelthen sneglesystemet er for lille. Det er det der med, at Ulrik vil selv og kan selv, men nogle gange går det altså skidt.



Figur 134

Det var det. Så går vi over til Jens, der vil tale om vores forsøg med halmpilleforgasning i vores anden totrinsforgasser, vores 100 kW forgasser.

Halmforgasning vha. Totrinsprocessen

ved Jens Dall Bentzen, COWI

Jeg vil fortælle om vores forsøg med halmpiller, og så når jeg også under en bred overskrift omkring totrinsforgasning ind på nogle af de andre aktiviteter vi har omkring totrinsforgasning, hvor vi bl.a. har lavet et teknisk og økonomisk beslutningsgrundlag for kommercielle totrinsforgassere, og så meget meget kort om vores storskalaprojekt.



Figur 135

Forsøget med halmpillerne er også blevet omtalt. Lasse Holst Sørensen fortalte lidt om additiverne. Men kort vil jeg fortælle om, hvad projektet har indeholdt. Det var i projektet, at vi skulle forgasse halm med et anti stakkemiddel tilsat. Det var så i en lang tidsrum, hvor vi forsøgte os med forskellige midler, og det har Lasse fortalt om.

Forsøg med halmpiller

Formål: Blive i stand til at forgasse halm til kraftvarme (motordrift)

Projekt:

- Udviling af antislaggemiddel
- Småforsøg med pillepresning og TGA
- Produktion af piller
- Ombygning af 100 kW forgasser
- Gennemførelse af forsøg og måleserie
- Analyser
- Rapportering

2 2008-12-05 9 COWI

Figur 136

Vi kiggede på sammensætningen af den halm, som vi nu havde købt hjem og skulle tilpasse additivet til den halm. Så har vi været med til at producere de piller på stedet. Der skulle en ombygning af 100 kW-forgasseren til, så vi kunne tage aske ud af bunden. Hidtil har vi kun kørt med træbrændsler og i og med, de har et så utroligt lavt askeindhold, har der ikke været en askeudmader på forgasseren før. Så skulle vi gennemføre forsøg og måleserie, og lave analyse og rapportering. Det er så det sidste vi er i gang med nu.

Et par billeder fra produktionen af pillerne.

Blanding af antislaggemiddel og produktion af piller



3 2008-12-05 9 COWI

Figur 137

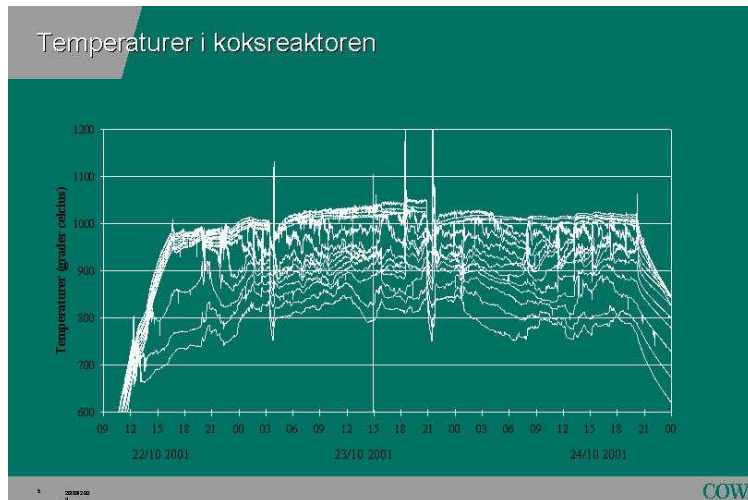
På det ene ser man, hvordan man blander sådan en additiv i en stor spand med en omrører, så hælder man noget vand, kalk og fosforsyre sammen. Så blander man det sammen med snittet halm, kommer det op i sådan en tromle, hvor det blandes rundt, og så bliver det ført via de snegle om bagved til pillepressen som står der. Det kom der så

nogle piller ud af, som I er velkomne til at kigge på og lugte til. Og dem har vi så forgasset i 100 kW-forgasseren. Her er lige et par billeder fra forsøget. For at være rigtig videnskabelig og have styr på det hele, så vejer vi jo af, og håndføder i indfødningsudstyret i billedet på midten.



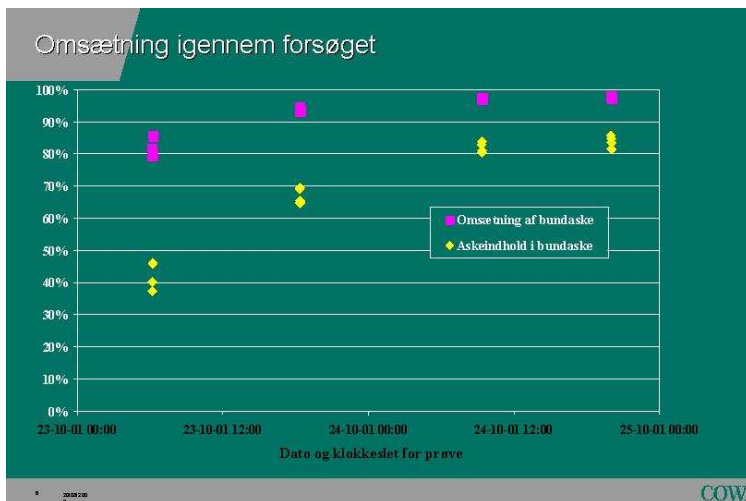
Figur 138

Sådan et par ventiler, der åbner på skift. Så kan i se på billedet til højre udmaderssystemet, der sådan en vandret snegl ud under risten som ligger i denne her højde, op i en skråsnegl, dernede i en beholder, som så bliver fyldt med aske. Systemet bliver styret efter tryktabet over koksbedden. Når det havde nået sit setpunkt, så kørte rist og transportsystemet. Setpunktet var 300 mm vandsøjle. Så kan man også på figuren se en række termofølere stikke ind i koksbedden, hvor vi måler temperaturen i koksbedden. Så vælger jeg lige hurtigt at vise temperaturen i koksbedden, kun for at illustrere at forsøget kørte meget stabilt, og der var ingen problemer med at forgasse de her halmpiller. Alt det med udmadning, kørte upåklageligt.



Figur 139

Nu var vi inde på modellering før og dynamik og sådan noget. Så kan vi så se lidt på praksis i et sådant forsøg, hvordan udvikler omsætningen af koks/akse sig i en sådan forgasser.



Figur 140

Det er en figur, der viser askeindholdet i de prøver, fra de tønder der bliver tømt ud. Den der beholder blev tømt et par gange i døgnet. Så er der så taget nogle prøver fra de tønder der.

Den første tønde var askeindholdet omkring de der 40%. Det er så stigende de der 2½ døgn forsøget kørte op til omkring 85%. Hvis man så omregner askeindholdet til omsætningen af biomassen, så svarer det til, at der efter den første måling var 80% omsætning og så op til 98% omsætning. Så hvorfor skal man modellere, når man ligeså godt kan køre et forsøg? Det er et godt spørgsmål.

Selvfølgelig er en hel del af projektet koncentrerende omkring gassens kvalitet. Specielt omkring partikler, alkali, klor har vi fået målt. Det vi kunne se under forsøget var, at det ikke var den samme slags partikler, som vi var vant til når vi kørte med træ. Normalt så var det stort set kun sod. Alt udstyr var sort af sod. Det var ret tydeligt fra den første måling, at alt ikke var sort længere, nu hvidt, gråt. Det var selvfølgelig salte, kunne vi sige os selv. Der har vi efterfølgende fået analyseret. Selvfølgelig er det kaliumchlorid en hel del af det, men det er altså ligeså meget ammoniumchlorid viser det sig. Det kom lidt bag på os. Men i og med der er saltsyre og ammoniak i gassen, så finder det sammen i rørstrækningen og danner ammoniumchlorid under nedkølingen. Så det var sådan en observation. Partikelindholdet har været meget svingende. Det har ligget omkring de der 1000-3000 mg.

Det er vores eget partikeludstyr:



Figur 141

Vi har målt absolut partikelmængde, og så er det målinger fra Teknologisk Institut, de var ovre og måle kalium, klor og tjære. Tjære har vi også været inde på før, det var så en ung mand, der hedder Finn Petersen fra Århus, der ikke gider gøre det så besværligt. Så han har udviklet sådan en Petersen kolonne.



Figur 142

Der har vi lavet tre målinger med den under forsøget. Derudover har vi selv målt med det der hedder en SPA-metode, en meget simpel tjæremålemetode, som nogle svenskere har udviklet. Der suger man simpelthen bare noget gas igennem et lille filter, og så ekstrahterer man efterfølgende filtret og måler komponenterne i en GC-MS. Den metode bruger mange i dag, men den har haft den bagdel, at meget flygtige stoffer går igennem filtret, f.eks. benzen, som Uwe også var inde på i sit indlæg, at benzen har det med at slippe for de traditionelle metoder. Så har vi udvidet metoden ved at sætte et filter efter standardfiltret med aktivt kul i for at fange de flygtige bestanddele. Som man så kan se på alle de målinger, der blev taget i løbet af forsøget, så kan man først og

fremmest sige om Teknologisk Instituts målinger, at de tre målinger viser en meget god reproducerbarhed, om det så er fordi forgasseren har kørt stabil, eller de har målt stabilt, det er nok nødvendigvis begge dele på samme tid. Forgasseren har kørt stabilt og deres metode er reproducerbar. De har målt omkring de der 30 mg benzen, 1½ mg naftalen og så lidt toluen. SPA-metoden målte vi 11 gange med.

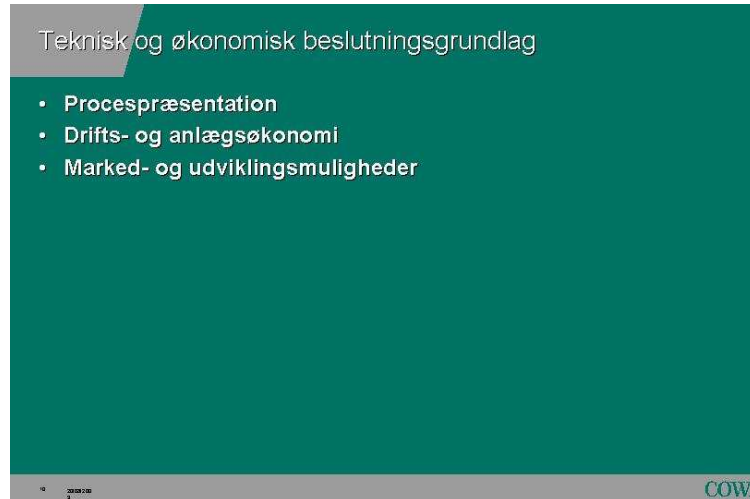
Der er det problem med de der små filtre og de der lave tjæreindhold, at selvom jeg har taget mere gas igennem end standarden foreskriver, så er det stadig udenfor metodens måleområde. På trods af det, er der egentlig utrolig flot overensstemmelse med Teknologiskes målinger. Omkring toluen, er der de der mærkelige tegn på over nul, det er, at de fik et signal på toluen, men det var så usikkert, at det ikke gav mening at finde ud af hvor meget der var.

Tjæremålinger (mg/Nm ³ gas)								
TI (Petersen kolonne)			SPA (Udvidet metode)					
Benzen	Naphthalen	Toluen	Benzen	Naphthalen	Toluen			
26,7	1,2	0,9	26,3	0,4	>0			
24,1	1	0,8	32,0	0,8	>0			
30,5	2,3	1,1	34,8	0,2	>0			
			-	0,8	>0			
			32,4	1,0	>0			
			31,6	1,3	>0			
			33,9	1,2	>0			
			27,8	1,5	>0			
			43,4	1,2	>0			
			41,4	0,7	>0			
			37,6	1,2	>0			
Snit	27,1	1,5	0,9	31,0	0,9	>0		

Figur 143

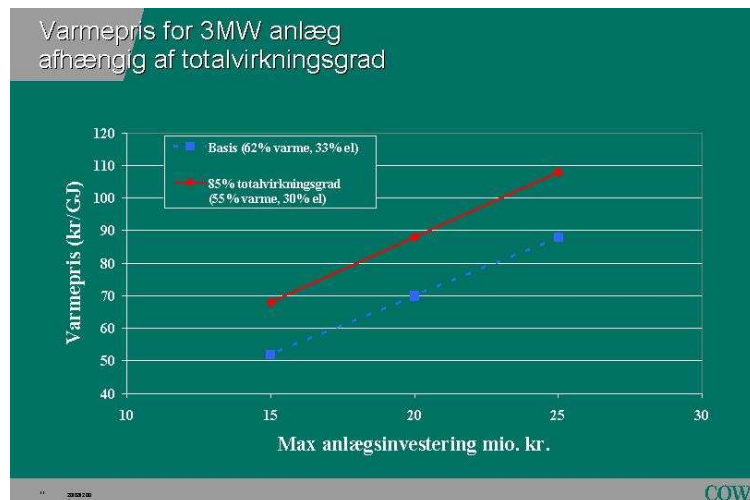
Det kan man se på de peaks. Summa summarum må man sige, at de to metoder supplerer hinanden utrolig godt. Det var det jeg ville sige omkring vores halmforgasningsforsøg. Der kommer nogle rapporter her i løbet af i år.

Så vil jeg så fortælle lidt om et projekt COWI og DTU har lavet sammen, hvor vi har set på opskalering og kommerialisering af tottrinsforgasseren. Den er jo velkendt bl.a. forskere i vores verden her, men det er endnu ikke lykkedes at få leverandører og investorer tilknyttet en videre kommerialisering. Så derfor har vi lavet et beslutningsgrundlag, hvor vi beskriver teknik og økonomi for de tre første anlæg og frem.



Figur 144

Det er så blevet til en sådan mappe her, med notater om hhv. teknik, økonomi, marked og finansieringsmodeller, som man så kan bruge til at vise anlægsværker, leverandører, og investeringsfolk. Der er meget at fortælle om det, men jeg vil lige vise en enkelt kurve som forklarer lidt om, hvorfor det kunne være en god ide, at interessere sig for tottrinsforgasning. Der er mange der altid kommenterer på, at den er meget kompliceret i forhold til bare et rør. Jamen så siger man, ”at det har et lidt bedre virkningsgrad”, og så siger man, ”ja men det kan slet ikke svare sig”, og så går snakken. Men hvis man sidder og prøver at regne lidt på det der, får man så bedre driftsøkonomi i forhold til den mere komplicerede konstruktion med to reaktorer og procesintegration? Det viser denne kurve her lidt om, den siger hvis man har en given varmepris og en virkningsgrad på sin forgasser, hvad må den så koste ud fra nogle givne forudsætninger.



Figur 145

Der har vi så en basisberegning for totrinsforgasseren som så ved en totalvirkningsgrad på 95% og så en mere almindelig forgasser med totalvirkningsgrad på 85%. Så ser man så, at der faktisk er plads til en investering på 5 mio. kr. for at holde den samme varmepris for et 3 MW anlæg. Så man kan sige, at konklusionen fra det projekt er, at en høj totalvirkningsgrad er væsentlig for en god økonomi.



Figur 146

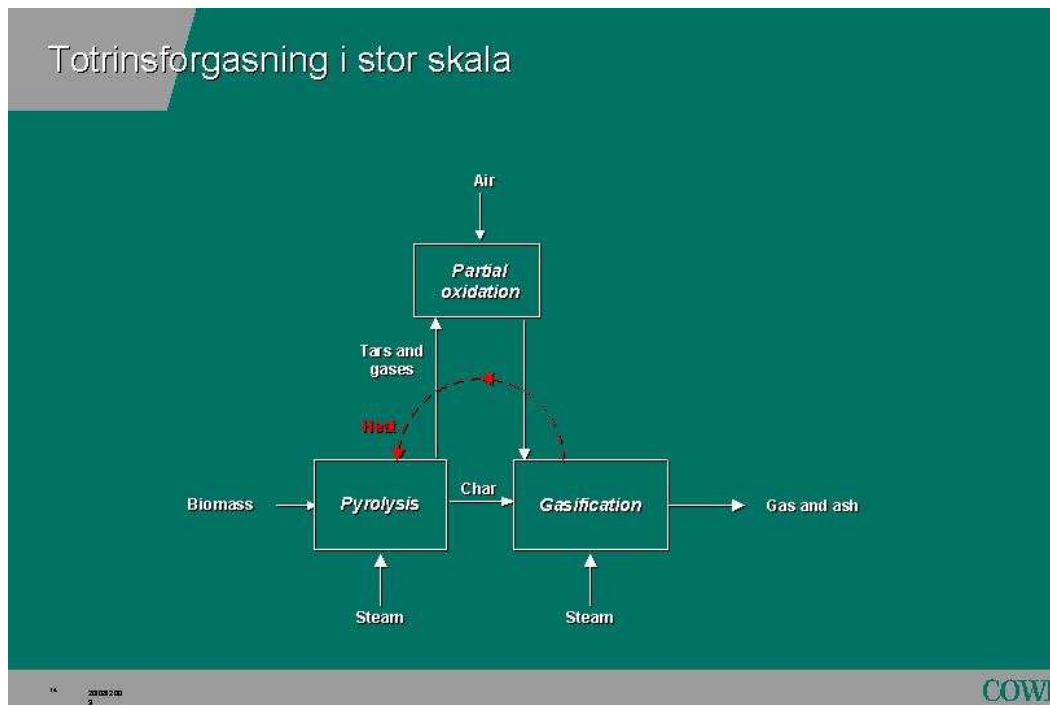
Teknisk set, kan totrinsprocessen ved nogle ændringer, vi har beskrevet, opskaleres til 5-10 MW termisk. Omkring økonomien er det nødvendigt med et tilskud til et pilot-/demonstrationsanlæg. Mens allerede for anden, tredje anlæg ser økonomien fornuftig ud.

Og så lidt politik, hvis der ikke er nogle danskere der er interesseret i det, er der i hvert fald et stort marked i EU, og det kan vi håbe på. Vi har snakket med folk i det øvrige EU om totrinsprocessen, men det er ikke blevet til noget konkret endnu desværre.



Figur 147

Omkring fixed bed versionen her er der ikke sket noget konkret endnu. Den version vi har skitseret, hvor man kan udføre totrinsforgasseren som fluid bed, den har haft utrolig stor bevågenhed siden vi lancerede den for et par år siden og det har været meget interessant.



Figur 148

Det er glædeligt, at vi nu har et samarbejde med Vølund. Det ser vi meget frem til.



Figur 149

Ulrik Henriksen: Var det så det Jens? Tak skal du have. Så er der kaffe udenfor. Er der nogle spørgsmål? Ja Ulf..

Ulf: Nu var den der blå farve svær at se, men jeg forstod ikke. Der var en eller anden fikseret varmepris, men hvad var elprisen?

Jens Dall Bentzen: Elprisen det er fra vores basisberegning. Selvfølgelig har vi lavet parameterstudier. Basis elprisen var 60 øre/kWh og det er absolut realistisk for de mange lande. Den ligger højere i mange EU lande, og det er også den pris vi kender i Danmark.

Ulf: Og i Tyskland?

Jens Dall Bentzen: I Tyskland er den højere.

Ulf: Det ændrer ikke på billedet.

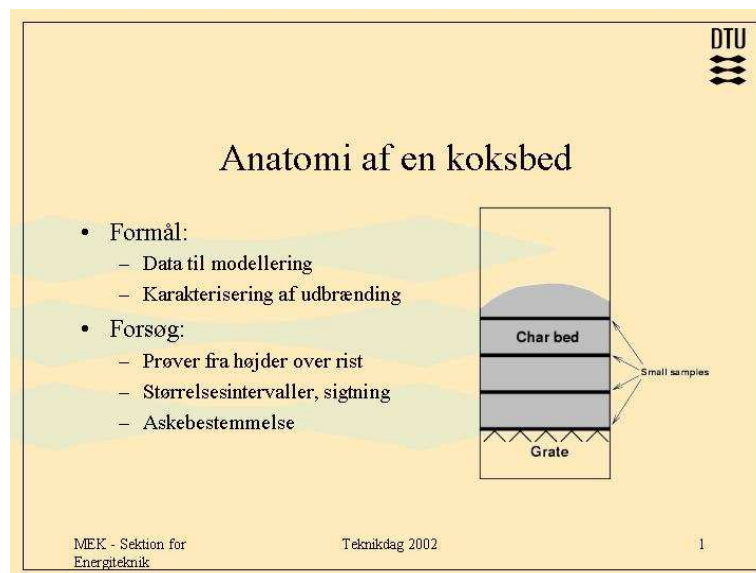
Jens Dall Bentzen: Jo så vil spændet blive lidt større. Begge kurver vil sænke sig i forhold til varmeprisen.

Ulrik Henriksen: Ja var der flere spørgsmål, ellers så er der kaffe udenfor. Vi er lidt efter planen, jeg tror faktisk nu, der er vi 20 minutter forsinket, så hvis vi kan gøre kaffen kort.

CH-Partikler i Totrinsforgasser

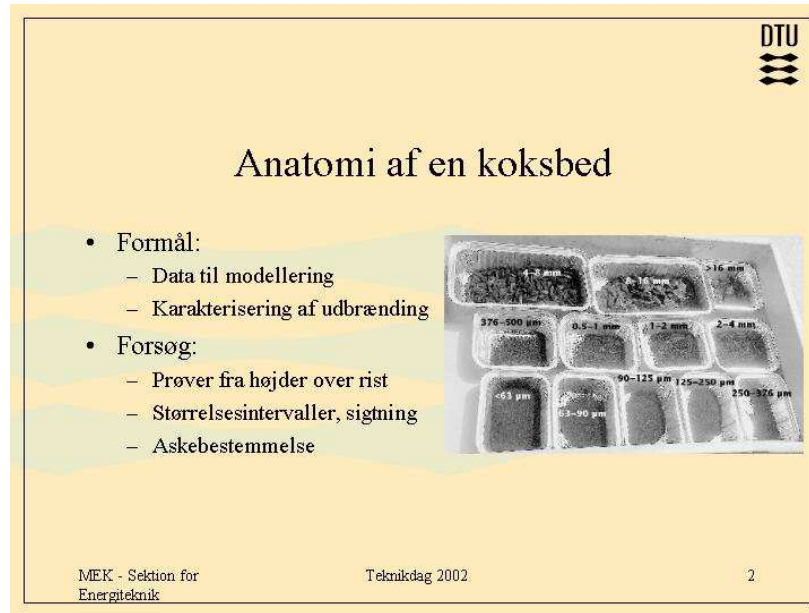
ved Claus Hindsgaul, MEK

Ja, jeg har meget med sorte ting at gøre. Som Ulrik tidligere fortalte, så har jeg et projekt nede ved Helge Egsgaard på Risø, hvor vi kigger på soddannelse. Men nu vil jeg fortælle om et andet sort projekt, som handler om at undersøge koksbedden fra totrinsforgasseren. Simpelthen prøve at finde ud af, hvordan er anatomien i en sådan koksbed. Formålet er at få nogle data til de her modelleringer, som I har hørt lidt om. Og så prøve at karakterisere udbrændingsprofilet ned igennem forgasseren her. Forsøgene går ud på, at jeg har overtaget nogle prøver, som i sin tid blev udtaget fra en koksbed. Her har vi lige en model af selve forgasningsreaktoren.



Figur 150

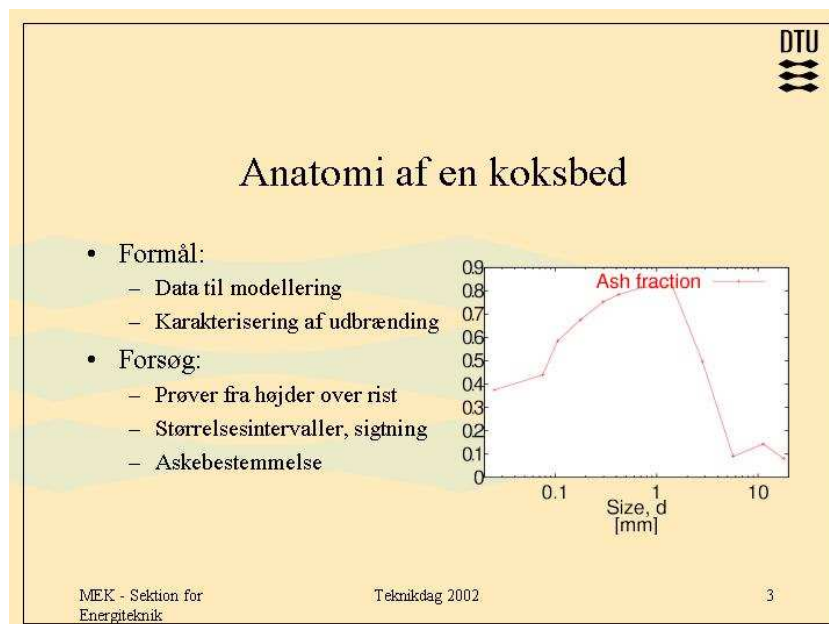
Det er jo som bekendt en medstrømsforgasser, hvor der så er udtaget prøver i forskellige højder i den nedlukkede reaktor, da koksbedden efter nogle forsøg blev tømt. De prøver, det er ½ kg fra hvert lag, har jeg så taget og sigtet. Dejligt sort arbejde.



Figur 151

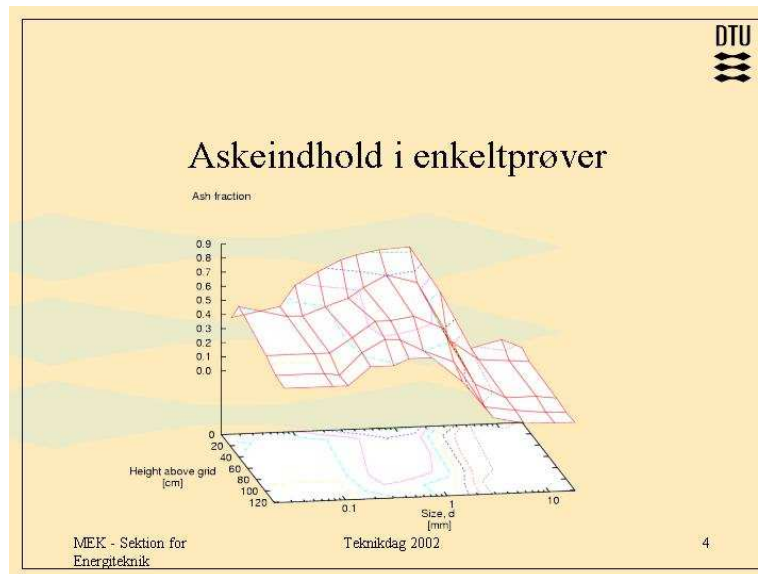
Og der har jeg så fået 12 forskellige størrelsesfraktioner. Og der kan I se, det er simpelthen, som de er lavet. Ganske almindelige standard sier, delt op i forskellige størrelser. Og derefter har jeg så fået lavet askebestemmelser på hvert enkelt af de forskellige fraktioner.

Her er så et eksempel på faktisk den prøve, som lå allernederst lige over risten på forgasseren.



Figur 152

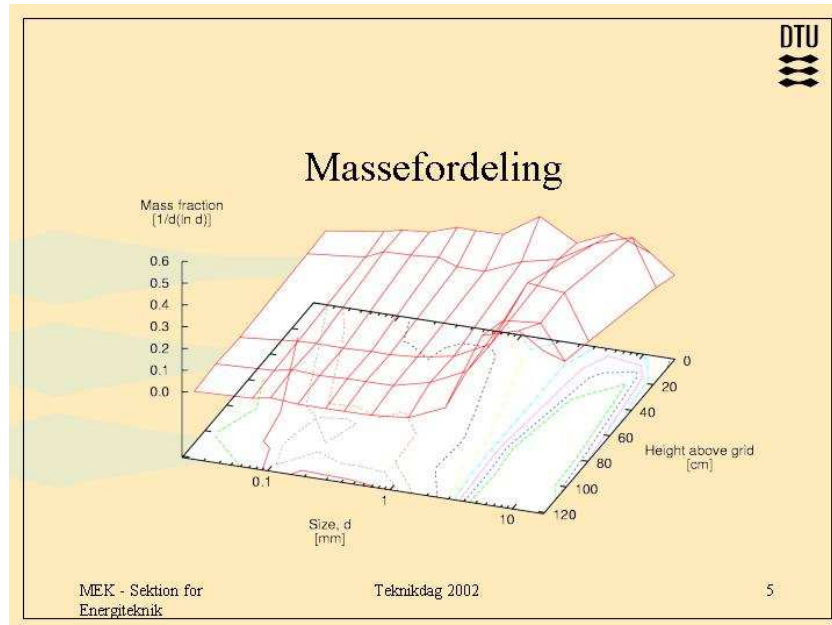
Nede i bunden med logaritmisk skala, kan I se partikelstørrelserne. Der har vi 10 mm, 1 mm og 0,1 mm. Det, som egentlig er ret specielt/bemærkelsesværdigt, det er, at der er meget stor forskel på askeindholdet. Her snakker vi 85% askeindhold lige præcis i denne her prøve. Omkring 1 mm størrelse. Mens fra samme prøve, partikler omkring 10-15 mm, der er vi nede omkring 9-10% i askeindhold. Så der er faktisk ret stor forskel på, hvordan asken ligger. Nu vil jeg prøve at udfordre jeres rumlige fornemmelse, ved at lægge flere af de her kurver nøjagtig magen til den I lige har set, efter hinanden.



Figur 153

Så der er kommet den ekstra dimension på, at vi har hernede 0 cm fra risten og så op til 120 cm over risten. Den bagerste kurve svarer fuldstændig til den kurve vi lige har set. Der kan man så se samme trend, faktisk i alle prøverne. Her ved de største partikler, er der meget lille askeindhold, 5-10%. Mens går vi ind omkring partikler med 1 mm i størrelse og mindre, så er askeindholdet noget højere.

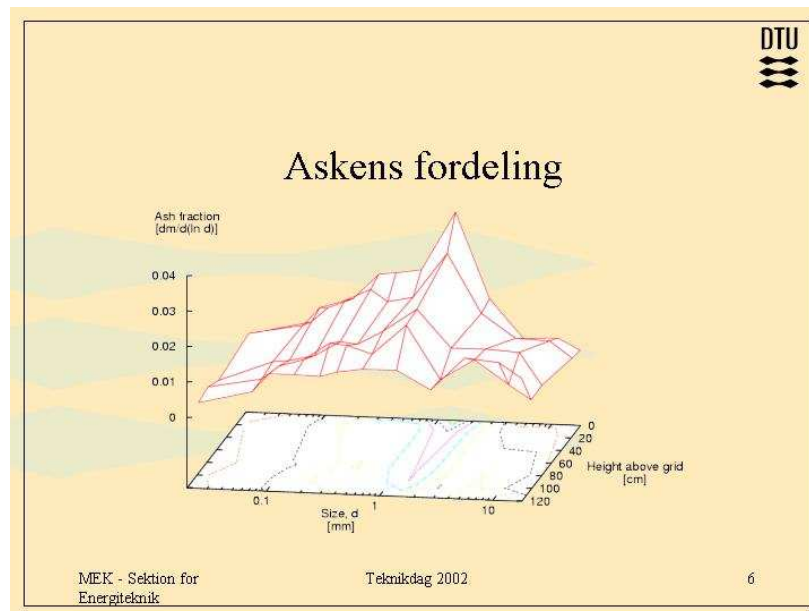
Jeg har så også vejet disse prøver og fået en massefordeling, så vi kan se, hvor partiklerne egentlig lå, eller hvad størrelsesfordelingen var i de forskellige lag. Og den er så ikke så overraskende.



Figur 154

Der har vi igen nærmest, det er så øverst i bedden, der har vi de største partikler, eller der er en stor del af de store partikler og en ganske lille del fordelt på massen af de små partikler. Mens det så vipper, når man kommer lidt længere ned i bedden. Der bliver lidt færre af de store og flere af de små.

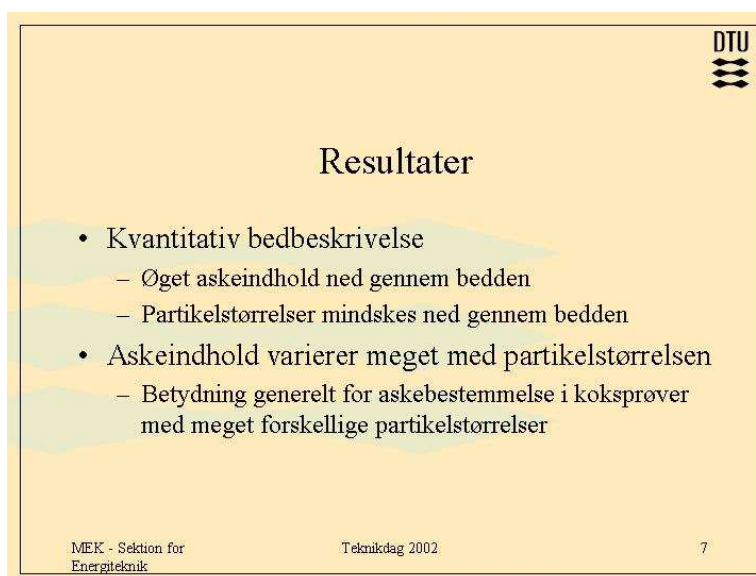
Det er sådan, at hvis man ganger de to kurver jeg lige har vist jer, så får man den absolutte fordeling af asken. Dvs. når man kigger ned igennem reaktoren, så kan man se, hvor asken ligger i absolut masseværdi i reaktoren.



Figur 155

Der er det helt klart, at al asken samles faktisk, det er stigende hele vejen ned igennem reaktoren, men det samles ikke kun på askeindholdet i den enkelte prøve, men der er også meget mere af denne her prøve. Så derfor får vi en kæmpetop. Al asken er simpelthen i de her partikler af en ganske bestemt størrelse. Det giver så lidt input til, nu var der snak om skrupmodel, porøsmode osv., her er der ret store indikationer af, at vi altså har en skrupmodel, hvor de store partikler bliver mindre, men deres askeindhold ændrer sig stort set ikke. Så de mister simpelthen bare yderkappen og bliver mindre og mindre. Der kan også ske nogle overvejelser, hvis man skal tage nogle askebestemmelser, nogle udbrændingsbestemmelser, hvis man har taget en prøve fra sin forgasser, så er det meget vigtigt at få en repræsentativ prøve fordelt på størrelser. Sådan, at man ikke bare tager og siger, at nu skal jeg have fem store stykker, og så laver vi en askebestemmelse på dem, for så får man altså en helt anden værdi, end gennemsnitsværdien i prøven hed.

Resultaterne. Der kan vi se den sidste overhead.



Figur 156

Vi har fået en kvantitativ bedbeskrivelse, som man kan bruge til modellering og til at gøre nogle af de overvejelser, som jeg har nævnt. Man har en øget askeindhold ned igennem bedden, det er ikke overraskende. Partikelstørrelsen mindskes ned igennem bedden, det er heller ikke så overraskende, men nu har vi tal på det. Askeindholdet varierer meget med partikelstørrelsen, og det har betydning, som jeg sagde, generelt for askebestemmelse i koksprøver, med meget forskellige partikelstørrelser. Der kan det være en god ide at overveje, hvis man laver sådanne målinger på sit anlæg, at det muligvis er det samme i det tilfælde, som det er hos os. Det var det.

Ulrik Henriksen: Tak skal du have Claus. Er der nogle spørgsmål om Claus' tredimensionale logaritmiske kurver og flader? Eller om hans undersøgelser i det hele taget. Så siger vi tak til Claus.

Vi går videre til Jesper, der fortæller om vores motorundersøgelser, og det er så det sidste indlæg og efter det indlæg, er der så kaffe, øl, vand og diskussion. Værsgo Jesper.

Motorresultater fra MEK

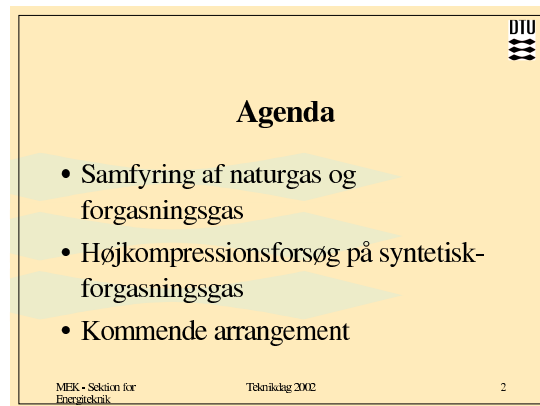
ved Jesper Ahrenfeldt, MEK

Jeg er så heldig, at have fået den sidste præsentation, hvor I alle sammen er rigtig vågne.



Figur 157

Jeg hedder Jesper Ahrenfeldt og jeg laver Ph.d.-projekt herude omkring motordrift på forgasningsgas. Jeg skal fortælle lidt om to forsøgsserier vi har kørt.



Figur 158

Dels skal jeg fortælle noget om sammenfyring af naturgas og forgasningsgas, og så skal jeg fortælle om nogle forsøg, hvor vi har kørt med høje kompressionsforhold på forgasningsgas. Til sidst vil jeg lige gøre lidt reklame for et kommende arrangement, hvis der nogle der ikke har fået nok.

Jeg starter med forsøgene der omhandler sammenfyring af naturgas og forgasningsgas. Forsøgene går ud på, at vi har taget en blandingsgas, hvor vi har taget 50% naturgas og 50% forgasningsgas, volumen basis. Det svarer så ca. til at forgasningsgassen udgør 13% på energibasis.

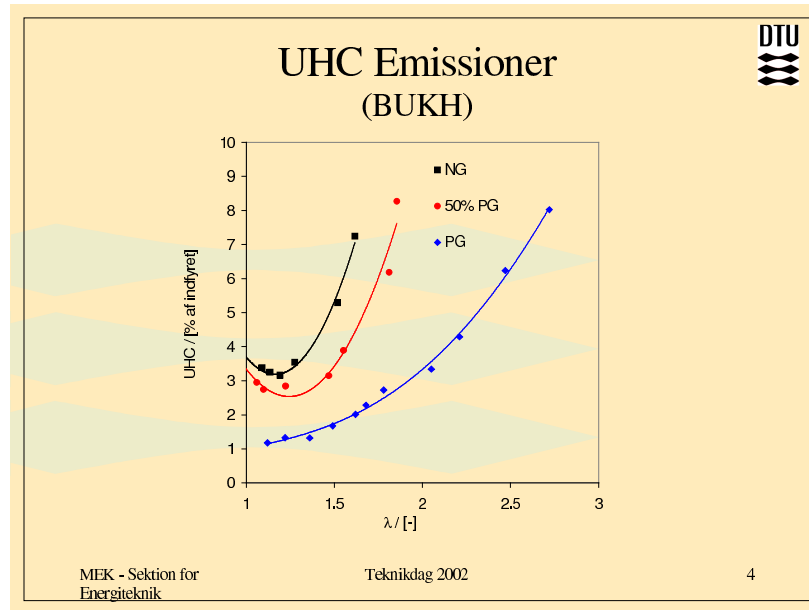
Samfyring af naturgas og forgasningsgas			DTU
Motordata	BUKH	NISSAN	
Bore	85 mm.	108 mm.	
Stroke	85 mm.	126 mm.	
Compression ratio	12:1	12.5:1	
Valve per cylinder	2	2	
Intake pressure	0.95 bar	0.70 bar	
Ignition timing	MBT	-25 deg.	
Number of cylinders	1	4	

MEK - Sektion for Energiteknik Teknikdag 2002 3

Figur 159

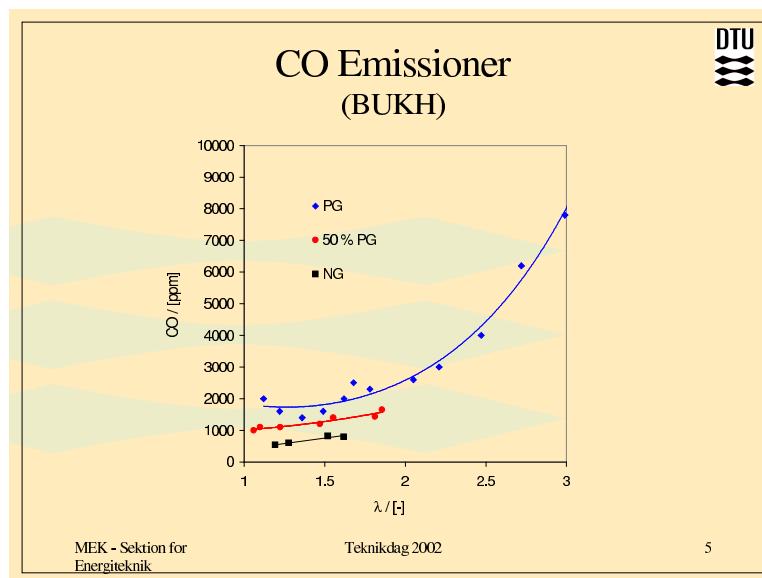
Vi har udført to forsøgsrækker, dels en på vores egen et-cylinderet-Bukh forsøgsmotor på instituttet herude. Vi har udført de samme målinger på en Nissan motor, udført i Japan. Det denne figur viser, er et overblik over motordataene. Det man nok skal være mest opmærksom på, det er mht. tændingstidspunktet, der er det for vores egen tændingsmotor muligt at indstille tændingstidspunktet, sådan at vi får maximum break torque, dvs. højest effekt ved hver eneste måling vi laver. F.eks. når vi varierer λ , så varierer vi også tændingstidspunktet, så det giver højeste effekt. På Nissan motoren har det ikke været muligt at regulere tændingstidspunktet, så der er alle forsøgene udført ved et tændingstidspunkt der hedder 25° før top død punkt. Begge motorer har stort set samme kompressionsforhold, og begge motorer er dieselmotorer, der er ombygget til gasdrift. Denne motor er så optimeret fuldstændig til forgasningsgas, dvs. der er lavet en stempeltop, som er optimal for forgasningsgas plus, at indsugningssystemet er optimeret.

Først vil jeg starte med at gennemgå nogle resultater fra Bukh motoren. Det skal lige siges at de her målinger, de er taget fra et større projekt, som omhandler brints indflydelse på UHC-emissioner fra naturgasmotorer, altså hvilken indflydelse vil det have, hvis man tilsætter brint til naturgas. For at kunne sammenligne den uforbrændte kulbrinte emission fra forskellige brændstoffer, er enheden her udregnet ved den uforbrændte UHC-emission, som procent af den indfyrede kulbrinte mængde. På den måde er det direkte muligt at sammenligne forskellige brændstoffer med forskellige kulbrinte indhold.



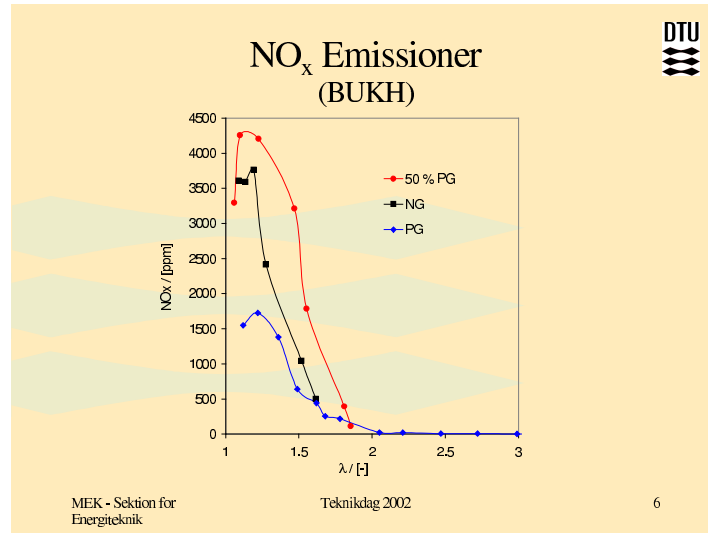
Figur 160

Den sorte kurve vi har her, er naturgas, den røde kurve er blandingsgas og den blå kurve er så forgasningsgas. Hvis vi kigger på de to kurver, som er interessante, kan vi se, at her omkring støkiometrisk drift er der en lille forskel, der sker en lille reduktion i UHC-emissioner, men går vi hen og kigger på lean-burn området, som mange motorer kører med, der får vi en væsentlig reduktion i UHC-emissionen. Det kan så bemærkes, at forgasningsgas ligger endnu lavere. Kigger vi på CO-emissionen, kan vi se, at der sker en forøgelse af CO-emissionen, som Bjørn også nævnte før.



Figur 161

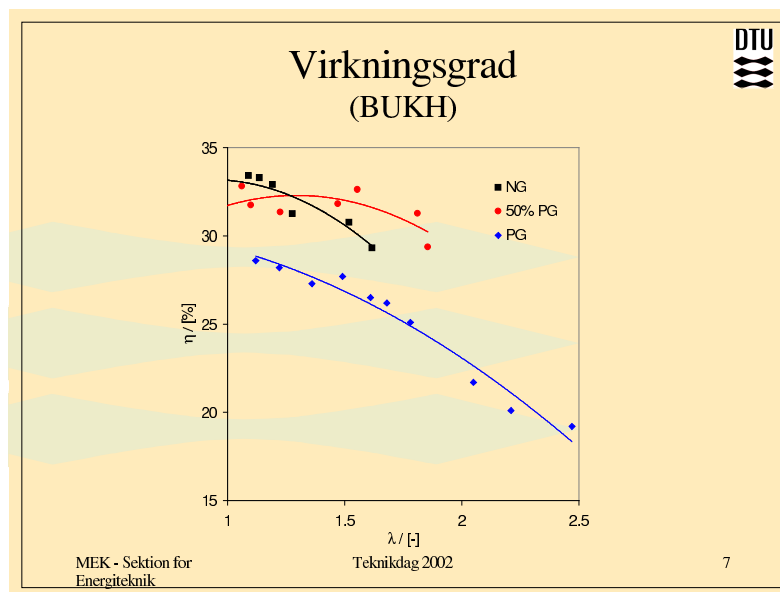
Det skyldes simpelthen, uforbrændt CO, der går lige igennem motoren, og man kan se for ren forgasningsgas er den endnu højere. Ved NO_x-emissionen for denne motor, sker der en forøgelse, og det har højest sandsynligt noget at gøre med, at netop har haft mulighed for at indstille motoren til maximum-break-tar.



Figur 162

Det kan så som bagdel medføre, at vi får en højere maksimaltemperatur og derfor en højere NO_x-emission.

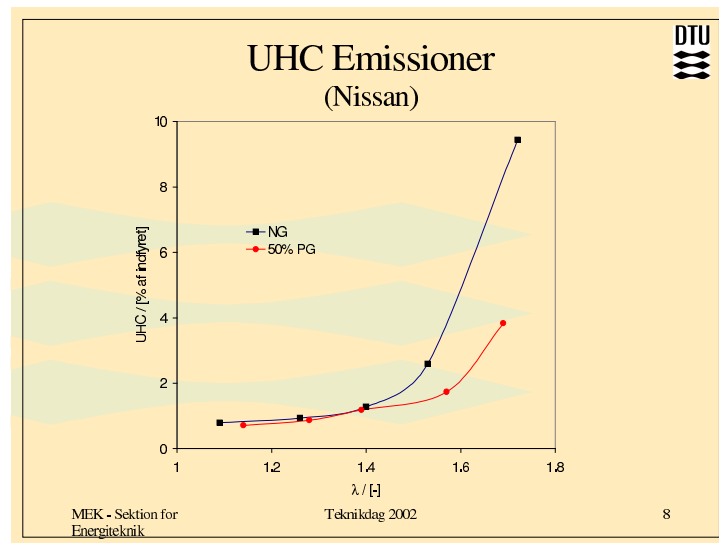
Kigger vi på virkningsgraden for denne motor ser det ud som om, at vi i lean-burn-området får en forbedring af virkningsgraden ved at iblande de 50% forgasningsgas i forhold til naturgassen.



Figur 163

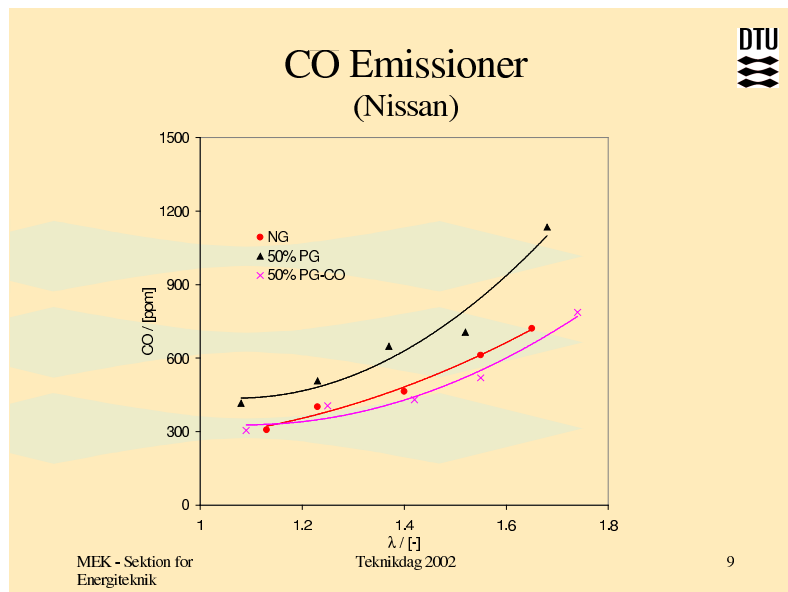
Man ser så her, at ren forgasningsgas ligger under de to her. Det kan til dels skyldes det Thomas var inde på, at hvis man kører på nogle standardmotorer, som ikke er optimeret til forgasningsgas, har man en dårligere volumetrisk virkningsgrad på forgasningsgas, end på naturgas.

Går vi så over til målingerne på Nissan motoren, så har vi her igen kulbrinteemissionen.



Figur 164

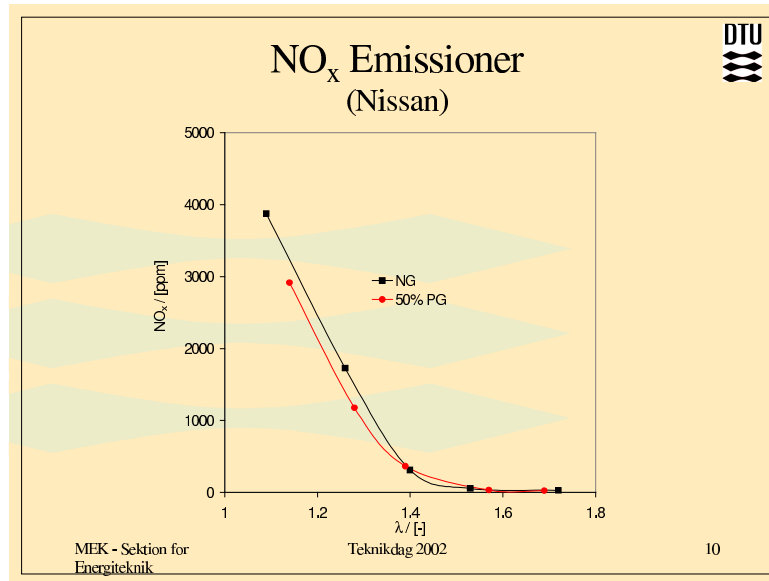
Og der kan vi så se, at for denne her nyere motor, som er optimeret, der er der stort set ingen forskel op til $\lambda = 1,4$. Hvorimod hvis vi kigger på lean-burn området, sker der igen en væsentlig reduktion i kulbrinteemissionen.



Figur 165

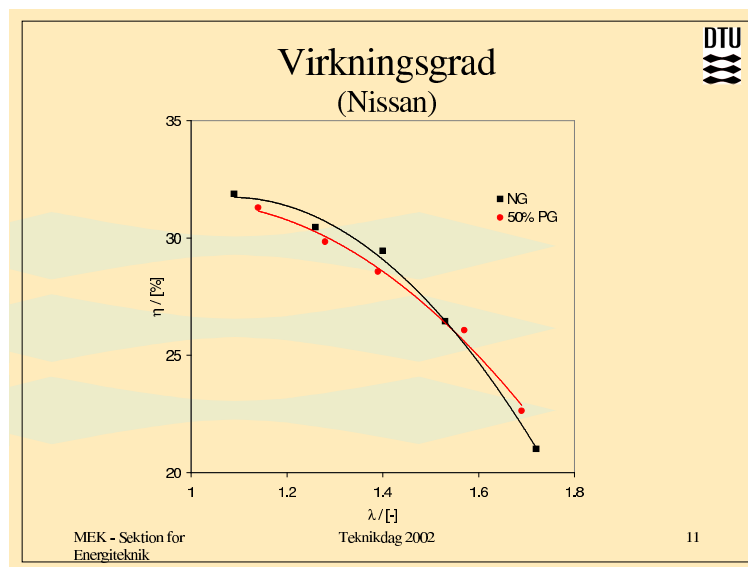
CO-emissionen følger den samme trin som for Bukhen. Der har vi så lagt en ekstra kurve ind. Denne kurve er så en blanding af 50% forgasningsgas og 50% naturgas. Det er den anden kurve sådan set også, men der er CO'en i forgasningsgassen substitueret med kvælstof. Dvs. al den CO-emission der kommer her, kommer fra delvis forbrændte kulbrinter, hvorimod den tilvækst der er i CO-emissionen udelukkende skyldes uforbrændt CO, som igen beviser, at hovedparten af CO-emissionen fra forgasningsgas stammer fra uforbrændt CO.

Kigger vi på NO_x-emissionen så ligger de stort set oven i hinanden.



Figur 166

Det skyldes simpelthen, at de er kørt ved samme tændingsvinkel. Virkningsgraden ligger også oven i hinanden.



Figur 167

Der er lidt den samme tendens som på Bukh-forsøgene. Grunden til, at den ikke er så udpræget er højst sandsynlig, at vi ikke har kunnet variere på tændingstidspunktet igen. Så lige en delkonklusion her for de her forsøg.

Konklusion

Samfyring af naturgas og forgasningsgas

- Reduktion af UHC emissionen med over 50% ved lean burn drift.
- Forøgelse af CO emissionen pga. uforbrændt fuel-CO.
- Mulighed for øget NO_x emission .
- Ingen reduktion af Virkningsgrad.
- Mulighed for øget lean burn grænse.

DTU

MEK - Sektion for
Energiteknik

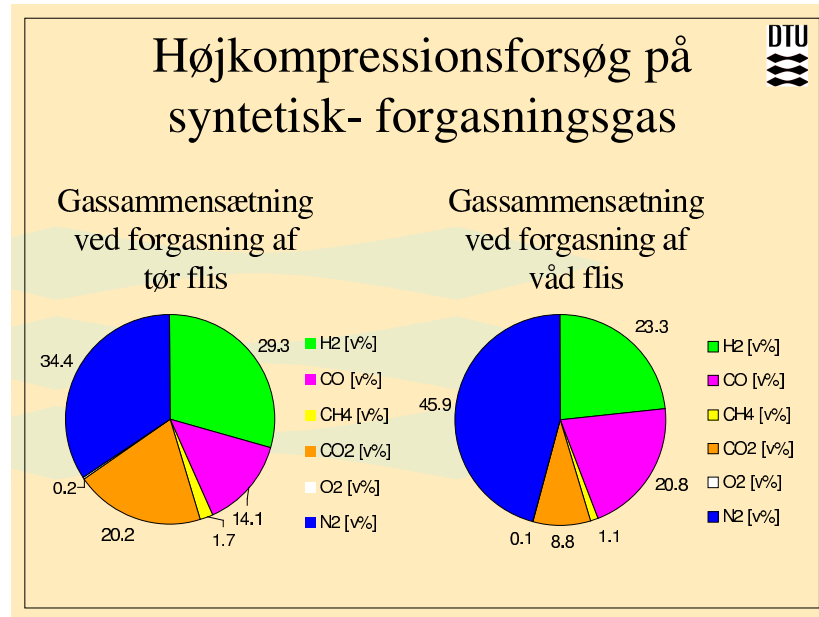
Teknikdag 2002

12

Figur 168

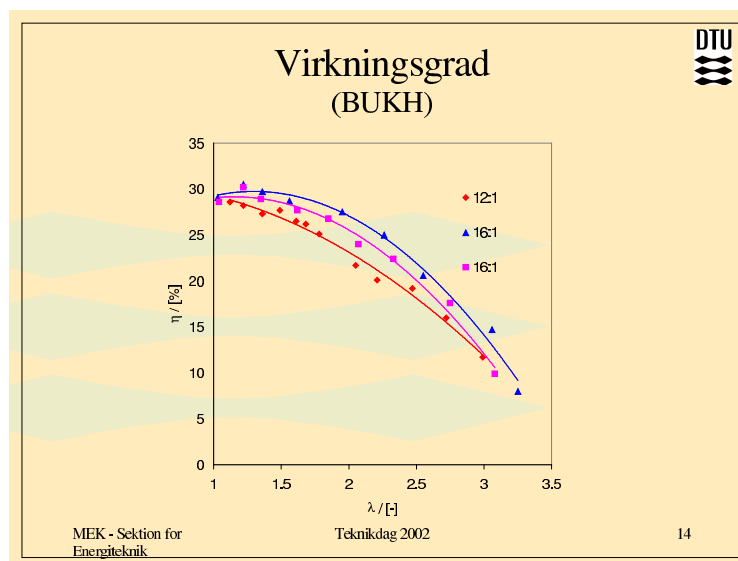
Vi får en reduktion i UHC-emissionen på over 50% ved lean-burn-drift. Der sker en forøgelse af CO-emission, pga. det uforbrændte fuel CO. Der er en risiko for øget NO_x-emission, men det er så igen meget afhængigt af tændingstidspunktet. Der sker ingen reduktion i virkningsgraden, måske en forøgelse ved lean-burn-drift. Og som vi så ved Bukhen, så er det muligt at øge lean-burn-grænsen.

Så vil jeg lige hurtigt snakke om vores forsøg med højkompresionsforhold. Her har vi kørt forsøg med Bukh motoren på syntetisk forgasningsgas. Vi har kørt med to forskellige gassammensætninger. Den ene gassammensætning simulerer forgasning af meget tør flis. Den anden simulerer forgasning af våd flis. De svarer stort set til nogle målinger, som vi har kørt på 100 kW forgasseren, hvor vi simpelthen har kørt med tør og våd flis.



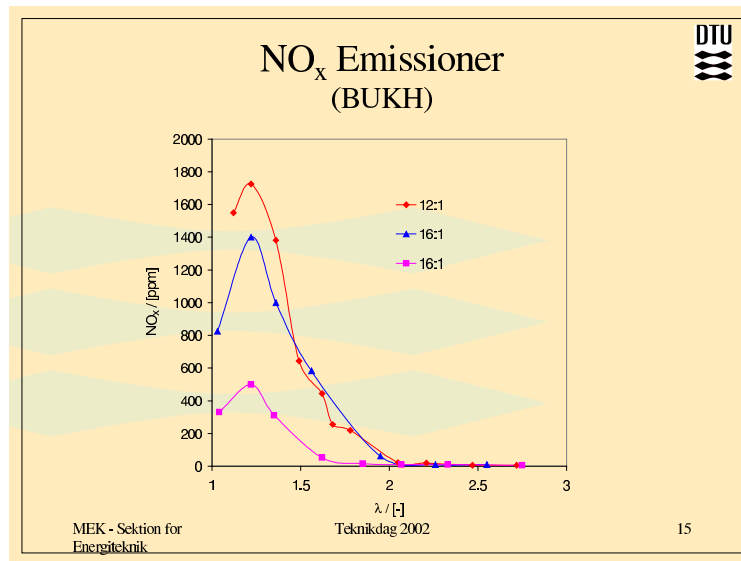
Figur 169

Vi har kørt med et kompressionsforhold på 16:1 på den her motor på ren forgasningsgas. Det har ikke voldt nogle problemer. Vi skulle virkelig langt ud i tændingstidspunktet for at få den til at banke, og som indikator for det, har vi trykmålinger. Vi har ikke kunnet se på nogle trykmålinger, at der har været bankning på noget tidspunkt. Hvorimod kører du den samme motor, ved samme kompressionsforhold på naturgas, så er det stort set umuligt. Så skal du køre virkelig magert, for at få den til ikke at banke. Det er så virkningsgraden:



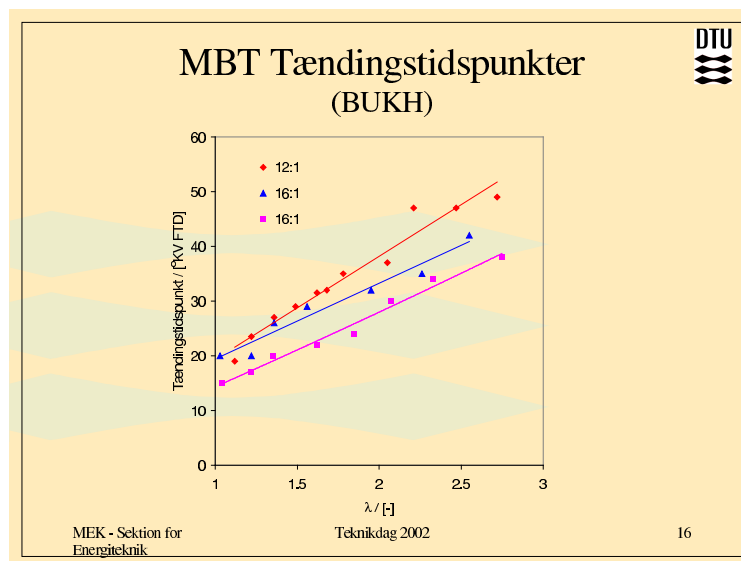
Figur 170

Her har vi den røde, det er forgasningsgas ved kompressionsforhold 12:1, den lilla er forgasningsgas bare ved 16:1 og den blå er så den forgasningsgas der simulerer forgasning af tør flis også 16:1. Der ser vi en klar forøgelse af virkningsgraden især i området $\lambda=2$. Kigger vi på NO_x-emissionerne, så ser vi måske noget, som nok vil undre de fleste, nemlig at NO_x-emissionen faktisk falder ved højere kompressionsforhold.



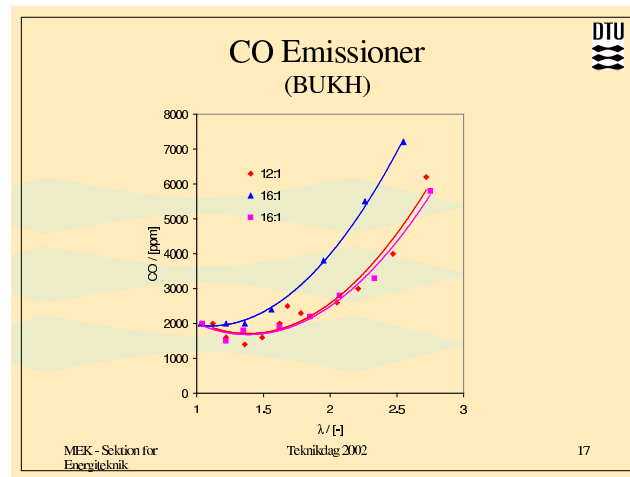
Figur 171

Især for gassen der simulerer forgasning af våd flis. Den røde og den lilla, har stort set ens sammensætning. Og der kan man se, at henne omkring støkiometrisk er der væsentlig forskel på NO_x-emissionen. Det kan man så se grunden til henne på den næste kurve, som er maximum break torque. Tændingsindstilling som funktion af λ .



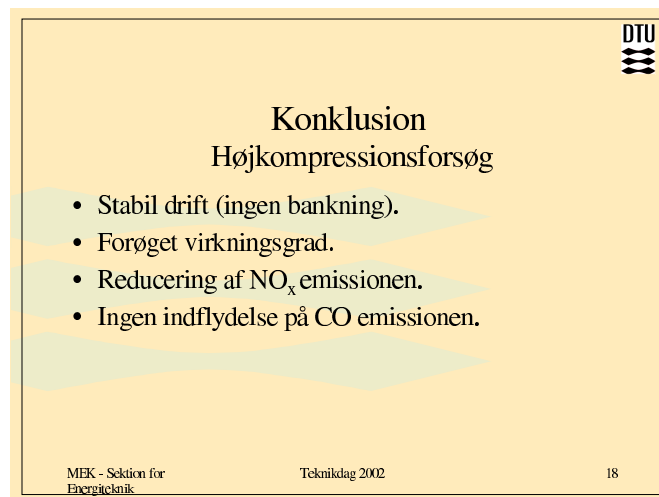
Figur 172

Der kan man så se, for den lilla ved 16:1, har vi haft mulighed for at tænde langt senere, derved får vi en noget lavere maksimaltemperatur, og det er så det, der giver den lavere NO_x-emission.



Figur 173

Kigger vi på CO'en for de to, gassammensætningen er ens, så kan man se, at der er ingen indflydelse mht. kompressionsforholdet. Grunden til, at den blå, har en højere CO-emission, er simpelthen, at der er et højere CO-indhold i gassen. Lidt konklusioner:



Figur 174

Vi kunne køre 16:1 og jeg tror sagtens vi kan køre 18:1, 20:1 ingen bankning. Forøget virkningsgrad. Vi kunne se en reduktion af NO_x-emissionen ved maximum break torque tændingsindstilling og kompressionsforholdet havde ud fra disse målinger ingen indflydelse på CO-emissionen.

Så vil jeg lige slutte af med at gøre reklame for et kommende arrangement.

Kommende arrangement 

PhD-forelæsning:
Hydrocarbon Emissions from Lean Burn Natural Gas SI Engines
-an investigation into the emission mechanisms and the influence of hydrogen enrichment

- Dato: 21/3
- Tid: 14:00
- Sted: Bygning 306, lokale 37

MEK - Sektion for Energiteknik Teknikdag 2002 19

Figur 175

Hvis der er nogen der er mere interesseret i ting der omhandler gasmotorer, så har vi den her Ph.d.-forelæsning, hvilket nogle af disse målinger er en del af. Alle er selvfølgelig hjerteligt velkomne og over på det høje bord derovre ligger nogle sedler.

Ulrik Henriksen: Tak til Jesper. Er der nogle spørgsmål eller kommentarer?

Jesper Schramm, MEK: Du skylder vel lige at sige, at de 50% forgasningsgas på energibasis kun er 10%?

Jesper Ahrenfeldt: 13% det har jeg sagt.

Henrik Flyver Christiansen, Energistyrelsen: Jesper nu havde du kun fat i UHC, men det der jo er interessant, det er jo metan. Hvor meget af naturgasmetanen slipper ud? Det der er interessant drivhusmæssigt, det er jo metan.

Jesper Ahrenfeldt: Når vi snakker naturgas, så er størstedelen af uforbrændte kulbrinter jo metan ikke. Jeg vil skyde på det er ca. 90% af udledningen, der er metan. I den sammenhæng er resten vel ikke speciel relevant. Det hænger jo sammen med, at når man måler det her, så måler man uforbrændte kulbrinter, og der måler man alle kulbrinterne. Man måler det med en FID, fordi det siger Miljøstyrelsen, at det skal man, så man ved ikke, hvordan fordelingen er.

Ulrik Henriksen: Ja vi siger tak til Jesper. Pga. at vi strøg kaffepausen, så er vi nu kun et kvarter efter tidsplanen. Nu er der så diskussion. Så er der kommet øl og vand, men ikke kaffe, kun kaffekopper. Men der er øl og vand hernede i hjørnet. Jeg ved ikke om vi skulle tage en lille diskussion, og hvad den i så fald skulle gå på. Vil du gerne sige noget Ole (Kristensen)

Ole: Det blev jo på et ret tidligt tidspunkt klart, at motorer der kører på forgasningsgas vil have en højere CO-emission. For et par år siden, da Harbøre-anlægget skulle etableres med motordrift, der kom problematikken op omkring den bekendtgørelse, der netop var kommet fra Miljøstyrelsen. Det lykkedes ikke på det tidspunkt at få ændret bekendtgørelsen så den tilgodeså forgasningsgasmotorerne, og derfor blev der givet en dispensation i første omgang, indtil man havde set nogle resultater. I dag kender man en hel del til resultaterne, så jeg vil gerne høre Energistyrelsen om de stadigvæk arbejder på at få ændret den bekendtgørelse?

Ulrik Henriksen: Ja det synes jeg var et meget relevant spørgsmål, og hvad siger Energistyrelsen til det, det er så Henrik Flyver Christiansen?

Henrik Flyver Christiansen, ENS: Ja men Ole det arbejde, det skulle dokumenteres, fordi det ender op i en eller anden bekendtgørelse på et tidspunkt, som er afhængigt af brændstoffet sådan så, at de bilag, der ligger i bekendtgørelsen, hvor at man faktisk kun har taget hensyn til metan, altså naturgassen ikke, den vil så blive brændstofopdelt simpelthen. Der er så en diskussion om formaldehyd skal med, skal dioxin med når vi snakker forgasningsgas osv. Der er mange uafklarede ting i den sammenhæng.

Ulrik Henriksen: Har du yderligere kommentarer Ole? Andre der har noget de gerne vil delagtiggøre resten i. Thomas du må da have en kommentar til et eller andet.

Thomas Koch: Jeg har opbrugt min kvote for kommentarer.

Ulrik Henriksen: Det var ærgerligt. Hvis der ikke rigtig er basis for nogen diskussion, så synes jeg man skal tage sig en øl eller sodavand, og nu er der kommet kaffe ligefrem.

Nu kan vi byde på en kop kaffe og så efterfølgende, når vi har drukket øl og kaffe, så er I alle sammen velkomne til en rundvisning på Halmfortet. Så vil jeg gerne sige tak for i dag og tak for god ro og orden. Og så vil jeg lige huske alle foredragsholderne på, at de jo har lovet email eller sende alle deres overheads til mig, så de kan komme med i referatet. Og så vil jeg også gerne takke for jeres deltagelse her og takke foredragsholderne for nogle interessante indlæg.